



# ! POSGRADOS !

## MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-No.506-2019

OPCIÓN DE  
TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO EN LA CIUDAD DE CAYAMBE MEDIANTE EL USO DE MANTECNOLOGÍAS CONTEMPORÁNEAS

AUTOR:

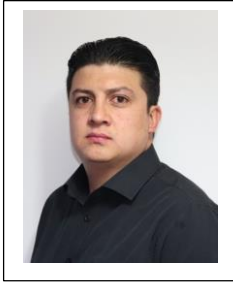
DIEGO FERNANDO FLORES REA

DIRECTOR:

CRISTIAN ANDRÉS LEIVA GONZÁLEZ

QUITO - ECUADOR  
2021

***Autor:***



***Diego Fernando Flores Rea***

Ingeniero Eléctrico

Candidato a Magister en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

[dfloresr3@est.ups.edu.ec](mailto:dfloresr3@est.ups.edu.ec)

***Dirigido por:***



***Cristian Andrés Leiva González***

Magister en Materiales, Diseño y Producción

Ingeniero Mecánico

[cleiva@ups.edu.ec](mailto:cleiva@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

FLORES REA DIEGO FERNANDO

***DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO EN LA CIUDAD DE CAYAMBE MEDIANTE EL USO DE MANTECNOLOGÍAS CONTEMPORÁNEA***

## Resumen

El presente trabajo describe la actualización de la estructura del departamento de mantenimiento de una planta de producción de carbonato de calcio. Esta actualización ha sido necesaria debido a la creación de una nueva planta de producción. Por lo tanto, el departamento de mantenimiento debe responder a los requisitos de la tecnología instalada que, al ser de última generación, requiere especial atención y rigurosidad en su implementación. En consecuencia, se desarrolló un sistema de gestión de mantenimiento que asegura el correcto funcionamiento y la máxima disponibilidad operativa de los equipos de la planta de producción que son de última generación. Por lo tanto, el presente documento prevé las acciones y tiempos requeridos para asegurar que las actividades de mantenimiento sean ejecutadas, contemplando la seguridad y salud ocupacional.

Por otro lado, se contempló el análisis financiero para la asignación de recurso económico. Se analizó el detalle de los costos operativos para garantizar la ejecución del plan de mantenimiento. En este análisis se consideró la estructura completa del departamento de mantenimiento y se propone la creación de puestos de trabajo que, cubran las necesidades técnicas y de apoyo interno en el departamento de mantenimiento. Se configura una estructura jerárquica, donde, el jefe del departamento de mantenimiento gestiona y designa actividades con personal de la planta y colaboradores externos como especialistas de bienes y servicios industriales.

Se hace uso de información, generada en las máquinas modernas por los sensores, para el diseño del plan de mantenimiento preventivo. En consecuencia, se puede mejorar y dar seguimiento a los indicadores de gestión para operación y mejora continua del departamento de mantenimiento. Finalmente, los datos recopilados se procesan con un sistema de gestión de mantenimiento asistida con ordenador (GMAO). El uso de técnicas mantecnológicas es parte integral del plan de mantenimiento, el cual, se soporta con la adquisición de información de equipos y elementos de control industrial. Dicha información está integrada en el sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA, del inglés *Supervisory Control and Data Acquisition*), que con la correcta manipulación de los datos permitirán obtener la máxima utilización de los equipos de planta.

**Palabras claves:** Mantenimiento Industrial, Sistema de Gestión, Planificación, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo.

## **Abstract**

This work describes the update of the structure of the maintenance department of a calcium carbonate production plant. This upgrade has been necessary due to the creation of a new production plant. Therefore, the maintenance department must respond to the requirements of the installed technology which, being state-of-the-art, requires special attention and rigor in its implementation. Consequently, a maintenance management system was developed to ensure the proper functioning and maximum operational availability of the plant's state-of-the-art production equipment. Therefore, this document foresees the actions and times required to ensure that the maintenance activities are executed, contemplating occupational health and safety.

On the other hand, the financial analysis was considered for the allocation of economic resources. A detailed analysis was made of the operating costs to guarantee the execution of the maintenance plan. In this analysis, the complete structure of the maintenance department was considered, and the creation of job positions was proposed to cover the technical and internal support needs of the maintenance department. A hierarchical structure is configured, where the head of the maintenance department manages and designates activities with plant personnel and external collaborators such as specialists in industrial goods and services.

It makes use of information, generated in modern machines by sensors, for the design of the preventive maintenance plan. As a result, management indicators for operation and continuous improvement of the maintenance department can be improved and monitored. Finally, the collected data are processed with a computer-aided maintenance management system (CMMS). The use of technological techniques is an integral part of the maintenance plan, which is supported by the acquisition of information from equipment and industrial control elements. This information is integrated in the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system, which with the correct handling of the data will allow to obtain the maximum utilization of the plant equipment.

**Keywords:** Industrial Maintenance, Management System, Planning, Preventive Maintenance, Predictive Maintenance.

## **Agradecimiento**

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo de muchas personas sin la cuales no me hubiera sido posible lograrlo.

En primera instancia agradezco el apoyo de la empresa para la cual tengo el gusto de trabajar y que ha sido un pilar fundamental, Planta Industrial LACEC acertadamente gerenciada por Diego Xavier Calisto.

A mi tutor Cristian Leiva, por su ayuda, esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación ha hecho que el presente trabajo se realice de la mejor manera.

Y finalmente a la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente de la mano de los profesores y en especial mis compañeros Vicente Barba y Ángel Gaibor por el acompañamiento durante todo el proceso de aprendizaje.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo es el resultado de mucho esfuerzo y dedicación no solo de mi parte sino de muchas personas cercanas a las cuales quiero dedicar la consecución de este logro en mi carrera profesional y personal.

A mi esposa Natali Vega que me brinda su constante ánimo y soporte, quien es mi compañera de vida ayuda e inspiración para la superación de todos los desafíos que se nos presentan.

También quiero agradecer y dedicar el presente trabajo a mi familia que son parte fundamental y grandes responsables de mi formación personal y profesional, a mis padres, hermanos, sobrinos y suegros.

A todos ellos gracias por formar parte de este título.

## Índice de contenidos

Resumen.....	II
Abstract .....	IV
Agradecimiento .....	V
Dedicatoria .....	VI
Índice de contenidos.....	VII
Índice de tablas.....	X
Índice de figuras .....	XI
Anexos .....	XII
Nomenclatura .....	XIII
Introducción .....	1
Objetivo de estudio .....	2
Justificación de la Investigación .....	2
Objetivos .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
Alcance del Proyecto.....	5
Definición de la organización y del departamento.....	5
Planificación de la intervención técnica de los equipos operativos .....	5
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Metodología de la investigación .....	6
1.2 Antecedentes de implementación.....	6
1.3 Fundamentación de la investigación .....	7
1.4 Evolución del mantenimiento industrial .....	8
1.4.1 Primera generación: Revolución Industrial (1760-1840) hasta 1950 .....	9
1.4.2 Segunda generación: desde 1950 hasta 1970.....	9
1.4.3 Tercera generación: desde 1980 hasta 1990 .....	10
1.4.4 Cuarta generación: desde 1990 hasta la actualidad .....	10
1.5 Conceptos modernos del mantenimiento industrial .....	11
1.6 Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM) .....	12

1.7	Análisis de modo de falla y efectos.....	13
1.7.1.	Aplicación del FMEA.....	13
1.7.2.	Etapas de la concepción del FMEA.....	14
1.8	Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	17
1.9	Técnicas del mantenimiento contemporáneo moderno.....	18
1.10	Indicadores de gestión.....	20
1.10.1	MTBF.....	20
1.10.2	Método de cálculo del MTBF.....	21
1.10.3	MTTR .....	21
1.10.4	Método de cálculo del MTTR.....	21
1.11	Disponibilidad.....	22
1.12	Método de cálculo de disponibilidad y capacidad de mantenimiento.....	22
1.13	Contexto de la organización a implementar la gestión de mantenimiento.	23
1.14	Resumen del capítulo .....	25
<b>CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE LA ESTRUCTURACIÓN DE LA GESTIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....</b>		<b>26</b>
2.1.	Estructuración del departamento de mantenimiento.....	26
2.2.	Horarios de trabajo de planta .....	28
2.3.	Elaboración del plan de mantenimiento.....	28
2.3.1.	Planificación de mantenimiento preventivo.....	36
2.3.2.	Cronograma y frecuencias para mantenimiento preventivo.....	38
2.3.3.	Elaboración de actividades de rutinas de lubricacion. ....	38
2.3.4.	Actividades de rutinas de revision y limpieza de equipos .....	38
2.3.5.	Elaboración de plan de actividades de mantenimiento preventivo. ....	40
2.3.6.	Importancia de uso de herramientas para monitoreo. ....	40
2.4.	Documentación del departamento de manteamiento .....	46
2.5.	Categorización de equipos .....	47
2.6.	Resumen del capítulo .....	49
<b>CAPÍTULO 3: RESULTADOS.....</b>		<b>50</b>
3.1	Elaboración del Plan de mantenimiento preventivo.....	50
3.2	Información documentada.....	56
3.3	Bloqueo de Equipos ó <i>Lock Out, Tag Out, Try Out</i> (LOTOTO).....	56
3.4	Hojas de análisis de riegos (JSA) de actividades no rutinarias de mayor riesgo.	57



3.5 Plan de lubricación.....	57
3.6 Plan de revisión y limpieza de equipos .....	58
3.7 Walk By Inspection (WBI) .....	59
3.8 Listado de repuestos críticos .....	61
3.9 Indicadores de gestión.....	62
3.10 Análisis de capacidad de mantenimiento .....	62
3.11 Resumen del capítulo .....	63
CAPÍTULO 4: ESTRUCTURA DE COSTO DE MANTENIMIENTO.....	64
4.1 Resumen del capítulo .....	67
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES .....	70
Anexos .....	77

## Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de las variables del tema propuesto. Fuente: Autor. ....	7
Tabla 2. Análisis de fallas y efectos. Fuente: Autor. ....	14
Tabla 3. Ponderación de impacto operacional. Fuente: Autor. ....	15
Tabla 4. Ponderación para impacto en seguridad, ambiente e higiene. Fuente: Autor. .....	15
Tabla 5. Ponderación para frecuencia de fallas. Fuente: Autor. ....	16
Tabla 6. Ponderación para flexibilidad operacional. Fuente: Autor. ....	16
Tabla 7. Ponderación en función del costo de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	16
Tabla 8. Escala de referencia para interpretación de prioridades de fallas. Fuente: Autor. ....	17
Tabla 9. Información característica de máquina motriz en molino <i>MyMill</i> 1. Fuente: Autor. ....	20
Tabla 10. Propuesta para la evaluación de la criticidad de las máquinas y equipos. Fuente: Autor. ....	32
Tabla 11. Criticidad para equipos de proceso y tratamiento de la planta. Fuente: Autor. .....	33
Tabla 12. Ficha técnica ejemplo <i>My Mill</i> . Fuente: Autor. ....	37
Tabla 13. Cronograma y frecuencias de lubricación de equipos. Fuente: Autor. ....	39
Tabla 14. Ejemplo de plan de mantenimiento preventivo. Fuente: Autor. ....	41
Tabla 15. Nomenclatura usada para la categorización de equipos. Fuente: Autor. ...	48
Tabla 16. Aplicación de análisis nodal de fallas (FMEA). Fuente: Autor. ....	51
Tabla 17. Cronograma para lubricación de equipos. Fuente: Autor. ....	57
Tabla 18. Definición de tipo y cantidad de lubricante. Fuente: Autor. ....	58
Tabla 19. Cronograma para inspección de equipos. Fuente: Autor. ....	59
Tabla 20. Mapa de ruta WBI de inspección para procesos de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	60
Tabla 21. Programación de rutas de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	61
Tabla 22. Detalle de nómina de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	65
Tabla 23. Costo del plan de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	65
Tabla 24. Detalles de gastos. Fuente: Autor. ....	66
Tabla 25. Costo indirecto de mantenimiento. Fuente: Autor. ....	66
Tabla 26. Detalle de costo de Mantenimiento. Fuente: Autor. ....	67

## Índice de figuras

Figura 1 .- Diagrama Causa efecto de la vida útil de los equipos [3].	7
Figura 2.- Evolución del mantenimiento industrial [18].	11
Figura 3. Uso de tecnología como herramienta de análisis predictivo [36].	19
Figura 4.- Proceso de la planta de producción para normas ISO 9001.4.1 [51].	23
Figura 5.- Importancia del sistema integrado de gestión [55].	24
Figura 6.- Interacción de procesos del sistema integrado de gestión [56].	25
Figura 7.- Ubicación jerárquica del departamento de mantenimiento. Fuente: Autor. .....	26
Figura 8.- Estructura de organigrama de Mantenimiento propuesto. Fuente: Autor.	28
Figura 9. Diagramación de la estructura de procesos de molienda de la planta. Fuente: Autor. ....	30
Figura 10. Diagramación del proceso de tratado de la planta de producción. Fuente: Autor. ....	30
Figura 11. Flujograma de operación de la planta de producción. Fuente: Autor.	36
Figura 12. Diagrama de Flujo de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Autor. ....	55

## **Anexos**

Anexo 1.- Lay Out de planta .....	77
Anexo 2. Orden de trabajo .....	81
Anexo 3. Ejemplo LOTOTO.....	82
Anexo 4. Formato LOTOTO información complementaria. ....	83
Anexo 5. Costo total acumulado de maquinaria. ....	84

## Nomenclatura

Abreviación	Descripción	Unidades
SIG	Sistema Integrado de Gestión	-
$CaCO_3$	Carbonato de Calcio	-
GMAO	Gestión de mantenimiento con ordenador	-
KPI	Key Performance Indicador	-
WBI	Walk By Inspection	-
MP	Mantenimiento preventivo	-
MC	Mantenimiento correctivo	-
RCM	Reliability Centred Maintenance	-
TPM	Mantenimiento productivo total	-
FMEA	Análisis de modo de falla y efectos	-
MTBF	Mean Time Between Failures	-
LOTOTO	Lock Out, Tag Out, Try Out	-
JSA	Job Security Análisis	-
MTTR	Mean Time To Repair	-
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	-

## **Introducción**

La nueva planta de producción de carbonato de calcio fue construida en la ciudad de Cayambe para incrementar la capacidad de producción y el portafolio de productos a comercializar, el objetivo del trabajo propuesto es potenciar la gestión del departamento de mantenimiento abarcando todas las áreas y servicios para garantizar su operación de manera eficaz y continua.

Por los años de vida útil de los equipos de la planta ubicada en Quito y, por falta de seguimiento en las actividades de mantenimiento de los años anteriores, la mayor parte de trabajo del área de mantenimiento es correctivo y los equipos se encuentran deteriorados provocando detener la producción de manera constante. La nueva planta de producción ubicada en la ciudad de Cayambe se encuentra finalizando el proceso de construcción con instalaciones y equipos de última tecnología. Al ser toda la maquinaria de nueva generación se debe levantar la información técnica y estructurar la gestión integral del departamento de mantenimiento. Un detalle adicional es que el presente trabajo está orientado a aplicar conceptos de mantenimiento preventivo y predictivo considerando técnicas modernas para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y extender su vida útil. Con el seguimiento documentado de indicadores de gestión se busca garantizar la operatividad y la disponibilidad de los equipos para asegurar que la producción diaria no sea interrumpida.

## **Objetivo de estudio**

Estructurar la gestión del departamento de mantenimiento para obtener la máxima disponibilidad y productividad de los equipos de la línea de producción, haciendo uso de técnica y tecnologías contemporáneas.

## **Justificación de la Investigación**

Para la producción de carbonato de calcio, y al contar con Sistema Integrado de Gestión (SIG), permitirá vincular criterios de calidad, medio ambiente y seguridad laboral, de tal manera que, se considere un proceso de producción ajustando, en todos sus procesos, criterios contemporáneos que hacen que la producción de carbonato de calcio sea responsable dentro de la línea de producción y hacia afuera con el medio ambiente. Además, puede brindar soporte a los procesos de mantenimiento requerido en la planta de producción de carbonato de calcio. La creciente demanda exige que los procesos de producción sean óptimos observando criterios de calidad, medio ambiente y seguridad industrial. Por tanto, se pretende robustecer los procesos de operación y producción para poder garantizar la distribución de los bienes y servicios que la empresa oferta.

En el presente trabajo es necesario el estudio y entendimiento de las normas ISO 9001, 14001 y 45000, en las que, se dan direccionamientos y se presentan requisitos que una organización debe cumplir para lograr la mayor eficacia en sus procesos. Hay diversas técnicas desarrolladas por autores desde 1980 hasta la actualidad que siguen vigentes y son herramientas fundamentales para conseguir la correcta implementación de SIG. El Sistema de Gestión Integrado fortalece a una organización y le brinda competitividad mediante mejora continua y, como resultado, se evidencia beneficios. Entre los más importantes tenemos los siguientes: aumento en la rentabilidad, disminución de los costos de producción, incremento de la satisfacción del cliente, optimización de todos sus procesos, desarrollo e innovación de sus productos., profesionalización de los trabajadores de la organización además de crecimiento personal de los mismos y control de la gestión interna y externa de la empresa.

Una vez establecida la importancia de un SIG, en el presente documento, se desarrolla la implementación de un sistema de gestión organizacional a nivel administrativo y operacional. Los procesos de mantenimiento son importantes dado que permite mantener activa la producción de una empresa manufacturera. Para poder garantizar el

correcto funcionamiento de los equipos necesarios para la producción, es fundamental contar con una estructura organizacional que oriente los procesos de mantenimiento observando criterios de optimización. Es decir, se requiere asignar actividades de mantenimiento buscando minimizar costos, para esto es necesario asignar de manera óptima las diferentes actividades de mantenimiento. Por lo tanto, el requerimiento de ejecutar acciones de mantenimiento preventivo y correctivo resulta de vital importancia en las cadenas de producción para garantizar extender la vida útil de los equipos maximizando su operatividad continua. Finalmente, los mantenimientos correctivos son necesarios por la naturaleza misma de los equipos, ya que, no están exentos de fallas imprevistas que son normales dentro del proceso operativo.

La importancia de la gestión integral del mantenimiento industrial radica en la contribución para identificar el desempeño de la operación de la empresa. El desempeño puede ser evaluado con indicadores de gestión y esto permitirá tomar acciones de mejora continua para garantizar la operación de la empresa maximizando la producción al menor costo.



## Objetivos

### Objetivo General

Diseñar el Sistema de Gestión de Mantenimiento de una planta de producción de carbonato de calcio en la ciudad de Cayambe mediante el uso de mantecnologías contemporáneas.

### Objetivos Específicos

- Definir el modelo de estructura organizacional del departamento de mantenimiento de acuerdo con las necesidades y tipo de producción de la planta.
- Categorizar los equipos de producción y levantar información técnica con priorización y uso de registros digitales.
- Elaborar los planes de mantenimiento de los equipos de acuerdo con su categorización mediante el uso de mantecnologías contemporáneas, mediante un GMAO (Gestión de mantenimiento con ordenador) para establecer frecuencias de revisión
- Estructurar los indicadores de rendimiento (KPI, del inglés *Key Performance Indicators*) del departamento de mantenimiento

## **Alcance del Proyecto**

Para satisfacer la necesidad organizacional de la gestión del departamento de mantenimiento de la planta de producción se debe realizar un levantamiento de información tanto del área administrativa como del área técnica para definir de manera adecuada las actividades en el área de mantenimiento. El alcance del presente trabajo considera dos aspectos: definición y organización del departamento y planificación de la intervención técnica de los equipos operativos

### **Definición de la organización y del departamento.**

Las actividades administrativas se centran en el cumplimiento de los lineamientos del sistema de gestión integrado, levantamiento de información administrativa, seguimiento en la instalación de los equipos, identificación y codificación de equipos, implementar el procedimiento de seguridad industrial por ejemplo bloqueo de equipos, definición de horarios de trabajo, definición de indicadores de gestión, definición de proveedores estratégicos para prestación de bienes y servicios técnicos.

### **Planificación de la intervención técnica de los equipos operativos.**

Esta es la parte fundamental de presente trabajo, ya que, planificar la intervención técnica de los equipos para mantener operativa la planta garantiza prolongar la vida útil de los equipos y maximiza el tiempo de producción haciendo que aumente el rendimiento de la productividad. En consecuencia, observaremos las siguientes actividades operativas: creación de base de datos de equipos operativos, programación y ejecución las ordenes de trabajo de mantenimiento (GMAO), programación y ejecución de rutinas de lubricación, programación y ejecución de rutinas de inspección y limpieza de equipos, programación y ejecución de (WBI, del inglés *Walk By Inspection*) y elaboración del presupuesto y recursos necesarios para la ejecución del plan de mantenimiento

## **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Metodología de la investigación**

La recopilación de información técnica de los fabricantes de los equipos es fundamental, así como la redacción del programa de mantenimiento y elaboración de los formatos necesarios para llevar a cabo los mantenimientos preventivos y predictivos con ayuda de herramientas computacionales como GMAO [1]. Además, es importante disponer de un repositorio digital de manuales y fichas técnicas de equipos que faciliten el análisis de datos.

Por otro lado, la investigación de procedimientos, en el mantenimiento de los equipos, es necesaria debido a que orientará procesos técnicamente calificados para garantizar la prolongación de la vida útil de las máquinas del proceso de producción de planta. Así es como mediante el uso del método científico, el cual, es una herramienta que permite identificar aspectos relevantes de la operación y mantenimiento de los equipos de producción [2]. Además, mediante la investigación bibliográfica de las máquinas se extrae información de interés como: fichas técnicas de partes y piezas instaladas en la planta de producción esto más el conocimiento adquirido con la experiencia en las actividades de mantenimiento aunado con el conocimiento institucional provista por la multinacional que posee el *Know How* en la rama de producción de carbonato de calcio.

### **1.2 Antecedentes de implementación**

A nivel local, la producción de  $\text{CaCO}_3$  se ha configurado como una idea de negocio, por lo que, se abre la posibilidad de construir una nueva planta de producción en la ciudad de Cayambe. Esto permite abastecer a la demanda del mercado actual e incrementar la capacidad de producción y el portafolio de productos a comercializar. La nueva planta dispondrá de maquinaria con alto nivel de tecnología, entonces, es importante contar con estrategias que orienten a la construcción y gestión de planes de mantenimiento para los nuevos equipos. Se sabe que, a medida que la tecnología aumenta en los procesos industriales, los requerimientos por concepto de mantenimientos deben actualizarse de manera paralela. Por lo tanto, es preciso conocer la evolución del mantenimiento industrial de toda organización, ya que, con un adecuado manejo de las actividades de mantenimiento se garantiza la operatividad y la permanencia de la empresa en el mercado.

### 1.3 Fundamentación de la investigación

Con la Figura 1, se presenta el diagrama Causa – Efecto aplicado al análisis de la vida útil de los equipos. En ella se advierte la importancia de recopilar información para aumentar la programación de mantenimientos preventivos y predictivos con la finalidad de aumentar la confiabilidad de los equipos.

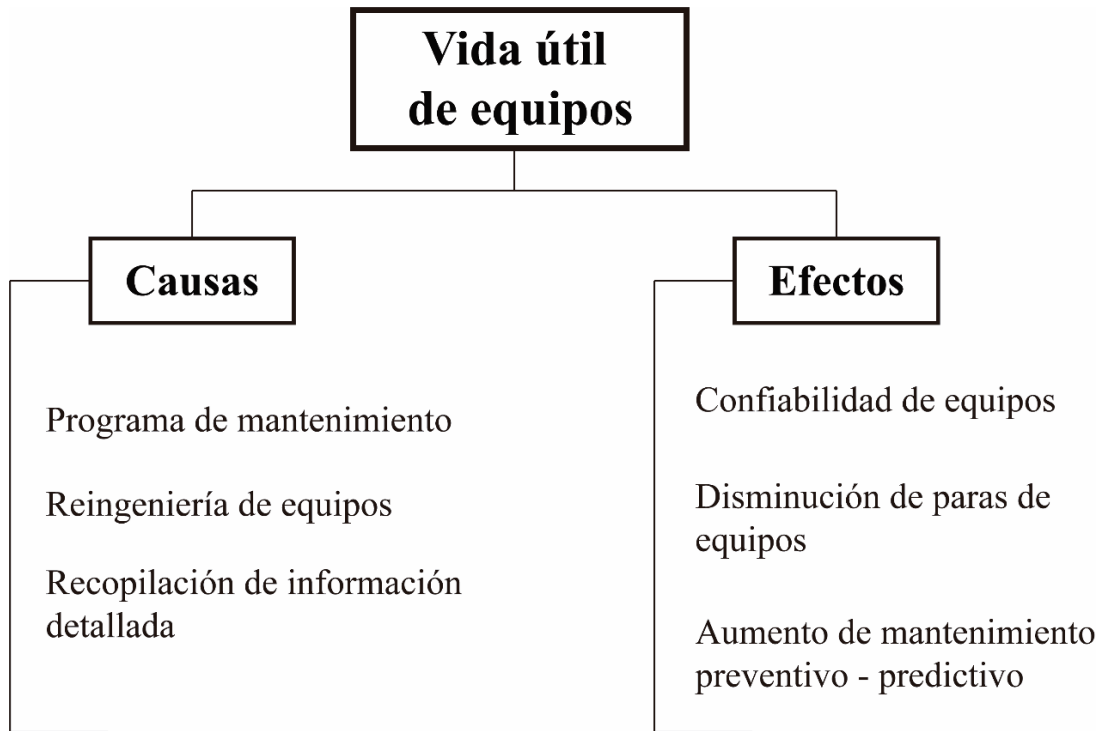


Figura 1 .- Diagrama Causa efecto de la vida útil de los equipos [3].

Con la Tabla 1 se presenta las variables que serán objeto de análisis en el presente documento.

Tabla 1. Análisis de las variables del tema propuesto. Fuente: Autor.

Productividad (variable dependiente)				
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIA	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS
Capacidad de relacionar la cantidad de recursos	Electricidad	Consumo eléctrico	Energía eléctrica (kW/h)	Medición con analizador de energía

utilizados con la producción	Productividad	Rendimiento de equipos	Horas producidas	SOP
	Potencia de equipos	Consumo de potencia	Potencia eléctrica (W)	Medición con Vatímetro
Programas de mantenimiento (variable independiente)				
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADORES	ITEMS BASICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Conjunto de actividades para mantener y aumentar la vida útil de los equipos y/o maquinaria	Periodicidad de los mantenimientos	MTBF	Tiempo de para de equipos	Registros de paras
	Tipos de mantenimiento	% de aplicación de cada tipo de mantenimiento	Correctivo Preventivo Predictivo	Registro de tiempo de ejecución de mantenimiento
	Ahorro de costos (repuestos)	Presupuesto	USD	Registros contables

#### 1.4 Evolución del mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial al igual que la tecnología ha ido evolucionando con el paso del tiempo haciendo que este mejore y que su aplicación sea lo más sencilla para la implementación de la parte técnica y admirativa en la industria en general [4]. El origen del mantenimiento nace con el surgimiento de las primeras máquinas creadas por el hombre a principios del siglo XX, durante la Primera Guerra Mundial, talvez por, la necesidad militar en la construcción de equipos tales como aviones y submarinos [5]. En 1920, el mantenimiento mecánico ya se practicaba en plantas industriales y en actividades de transporte.

Luego, para cuando se inicia la Segunda Guerra Mundial y en posguerra se desarrollan programas de mantenimiento preventivo consistentes en inspeccionar los aviones antes de cada vuelo, comprobando su estado y reemplazando componentes después de un cierto número de horas de funcionamiento. En consecuencia, el objetivo es mantener los equipos en condiciones de plena eficiencia para que el rendimiento del sistema sea máximo y garantice seguridad en los procesos [6].

#### **1.4.1 Primera generación: Revolución Industrial (1760-1840) hasta 1950**

Se trata del mantenimiento correctivo, en el que, se espera que se presente una falla en el equipo para proceder a la reparación. Esta fase se identifica antes del año 1950 y es la etapa más larga pues, inicia con la revolución industrial [7]. Los gastos por mantenimiento correctivo significaban un gran costo y mucho tiempo empleado para la reparación. Esto implicaba que se perdiera unidades disponibles en los procesos industriales hasta solventar la falla de dicho equipo.

Con la implementación de la producción en serie, a raíz de la Primera Guerra Mundial, las fábricas comenzaron a establecer programas mínimos de producción y surgió la necesidad de tener un equipo de trabajo para garantizar que las máquinas se mantengan en funcionamiento y, en el caso de presentarse una falla corregirla en el menor tiempo posible. El mantenimiento correctivo se caracterizó especialmente por los altos costos de mano de obra y repuestos. Las desventajas más considerables están los defectos de calidad, tiempos muertos o paros prolongadas por fallas repentinas [8]–[10].

#### **1.4.2 Segunda generación: desde 1950 hasta 1970**

El mantenimiento preventivo tuvo su origen con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, con lo cual, se realizó la documentación de las intervenciones en los equipos observando los aspectos relacionados con la producción. Este antecedente dio paso a la creación de la Sociedad Americana de Control de Calidad para realizar el estudio estadístico del trabajo mejorando calidad de los productos obtenidos. En esta etapa el objetivo del mantenimiento es establecer las acciones de mantenimiento preventivo en los equipos que realizan trabajos cíclicos de producción. Esta fase se extiende hasta finales de los años 70 [11].

El mantenimiento preventivo tiene dos maneras de establecerse, la primera manera es planificarla en función a una periodicidad generalmente anual, sin tener en cuenta las horas de trabajo del equipo y, la segunda manera es realizarlo de forma periódica teniendo en cuenta la acumulación de las horas de trabajo sin considerar el tiempo calendario transcurrido Ramani et al. [12].

Luego surge el concepto del mantenimiento autónomo, el cual, es realizado por el operador con actividades sencillas o de rutina para que el equipo sea monitoreado por el mismo operador y anticipar la aparición de una falla.

### **1.4.3 Tercera generación: desde 1980 hasta 1990**

En esta etapa, el mantenimiento preventivo, se basa en el monitoreo de parámetros de funcionamiento de los equipos para anticiparse a posibles operaciones en condiciones de falla y, de esta manera, considerar el equipo para programar el mantenimiento correspondiente. Este manteniendo se lo realiza con el apoyo de equipos de medición e inspección que permiten conocer el estado real de las máquinas a través de mediciones periódicas y registrándolas. Estos registros permitirán obtener registros de datos históricos para analizar el comportamiento anormal de variables. Además, permitirá evaluar el desempeño de la maquinaria [13], [14].

En esta etapa, la detección de condiciones de funcionamiento anormal de los equipos se refuerza con la realización de estudios causa-efecto para averiguar el origen de los fallos. Esto brinda una serie de ventajas dentro de las cuales tenemos principalmente el registro de los fallos y sus causas para que sea más fácil programar intervenciones futuras y, además, sirve de apoyo para la referencia de los técnicos encargados del mantenimiento del equipo.

### **1.4.4 Cuarta generación: desde 1990 hasta la actualidad**

El mantenimiento preventivo desde una visión holística nace a principios de los años 90 en las grandes compañías de manufactura donde la Gestión de Calidad Total obliga a dar prioridad a la calidad en todos los procesos de la organización.

La cuarta generación más conocida como la etapa de la Industria 4.0 se fundamenta en la filosofía de la automatización de los procesos industriales con la ayuda del desarrollo tecnológico, el cual, ofrece una amplia gama de equipos automáticos tanto en la parte operativa como en el monitoreo y control de los equipos. Estos equipos por su versatilidad permiten realizar un monitoreo en línea para tener el control digital de todas las variables del proceso, lo que, permite anticipar una falla mediante el establecimiento de condiciones o límites. La anticipación de las fallas es advertida mediante alarmas o mediante la salida de operación de los equipos (autoprotección). En consecuencia, los datos registrados serán de mucha utilidad para identificar las anomalías o fallas con la finalidad de tomar acciones correctivas y/o preventivas para asegurar el continuo funcionamiento de las máquinas [15], [16].

Esta es la fase en que los SIG procuran la mejora continua de los procesos mediante mantenimientos predictivos cuyo objetivo es mejorar la eficiencia del equipo, a través,

de la disponibilidad y el máximo desempeño en la línea de producción [17]. La Figura 2 presenta la evolución del mantenimiento industrial y sus principales características.

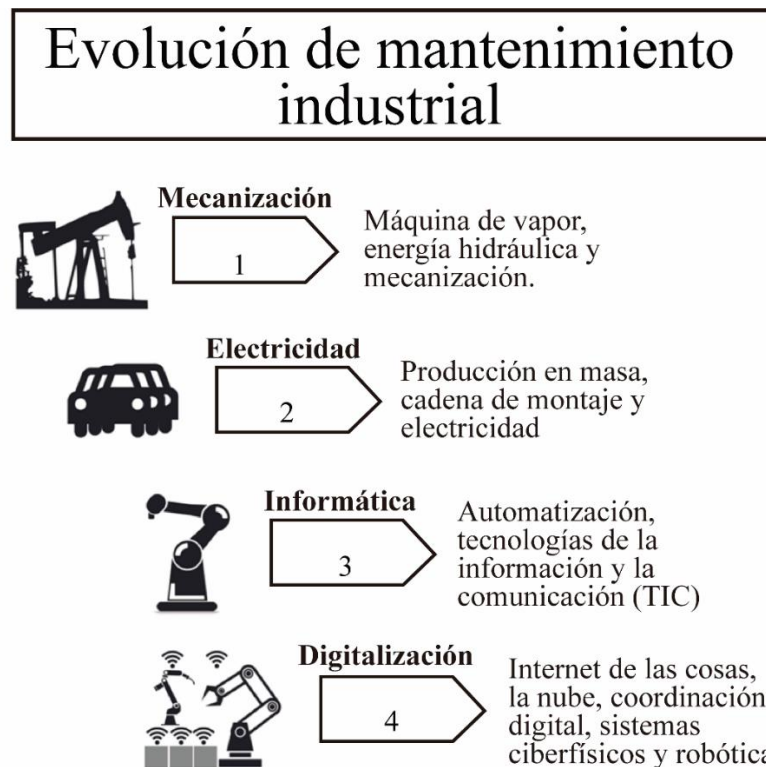


Figura 2.- Evolución del mantenimiento industrial [18].

### 1.5 Conceptos modernos del mantenimiento industrial

En la investigación realizada por Poor et al. [19] se menciona que, desde el punto de vista de las necesidades y la prosperidad de la práctica operativa, las máquinas y los equipos tienen una posición central en cada empresa. En términos de competitividad en un mundo global, las empresas deben desarrollar sinérgicamente todas las áreas, procesos y sistemas que se están implementando para su crecimiento. El avance tecnológico estructurado de estos componentes ayuda a avanzar y desarrollar la industria preparándola para la competencia en el mercado. Por esta razón, los problemas de mantenimiento de máquinas y equipos son importantes. La historia del mantenimiento y su evolución es también parte de la historia de la cultura y una imagen del concepto y la filosofía industrial. El mantenimiento predictivo es esencial para un mayor desarrollo, especialmente en tiempos de crisis financiera y reducción de la facturación, aumento de los costos de energía, materias primas y mano de obra [20].



## **1.6 Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM)**

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM, del inglés *Reliability Centred Maintenance*) permite elaborar técnicas para el desarrollo e implementación de técnicas de mantenimiento. El mantenimiento centrado en fiabilidad es una técnica para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial. Todos los sistemas de un proceso de fabricación se deterioran con el tiempo, lo que puede ocasionar altos costos de operación y reducción en la eficiencia [21]. Además, las fallas están sujetas a problemas estocásticos, por lo que, adoptar políticas de mantenimiento es un trabajo importante. En la práctica, reemplazar un equipo cuando ocurre una falla puede no ser una forma económica, por lo que, reparar el componente fallado o reemplazarlo un poco antes de que incurra en la falla resulta ser una acción que permite reducir costos y tiempos en los que la máquina debe salir de funcionamiento. Para aumentar la disponibilidad de los elementos y disminuir los costos de operación del sistema, se usa el mantenimiento preventivo (MP). El MP involucra acciones destinadas a mantener el equipo en condiciones óptimas de operación, logrando con ello, evitar fallas en el proceso industrial.

En las actividades de mantenimiento preventivo, las acciones de reparación se pueden subdividir en reparación perfecta, mínima reparación y reparación imperfecta. Una reparación perfecta restaura el sistema a un punto de operación deseable y óptimo. Una reparación mínima restaura el sistema para que sea tan malo como viejo y no cambia la probabilidad de falla del sistema. Si una reparación tiene errores no corregidos es una reparación parcial entre la reparación perfecta y la reparación mínima. Para las acciones de reemplazo, hay reemplazo preventivo que se puede adoptarse antes de que el sistema falle y el reemplazo por falla, respectivamente. Desde la década de 1960, se han estudiado muchas investigaciones sobre la política de mantenimiento preventivo y se han construido muchos modelos conocidos como se describe en Martins et al.[22], Han et al.[23], Peng et al. [24].

El proceso de análisis de fallos para la toma de acciones correctivas o preventivas comprende de un proceso que puede aplicarse a los equipos de una planta industrial:

Paso 1: Definición del objetivo del RCM. Determinación de indicadores, y valoración de estos antes de iniciar el proceso.

Paso 2: Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta mediante la recopilación esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos.

Paso 3: Estudio detallado del funcionamiento del sistema y de las especificaciones con un listado de funciones primarias y secundarias.

Paso 4: Determinación de los modos de fallos funcionales y fallos técnicos.

Paso 5: Estudio de los modos de fallo para su análisis según su criticidad y funcionalidad.

Paso 6: Determinación de planes de acción preventivos para evitar los fallos.

Paso 7: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuestos que debe permanecer en stock y acciones preventivas a tomar en caso de fallo.

Paso 8: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

Paso 9: Evaluación de las acciones, mediante la valoración de los indicadores de gestión.

## **1.7 Análisis de modo de falla y efectos**

El análisis de modos de fallas y efectos (FMEA, del inglés *Failure Mode and Effect Analysis*) es un utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de posibles causas y sus efectos producidos, a fin de determinar las acciones necesarias requeridas que serán de utilidad para inhibir las fallas y garantizar la operación continua del proceso industrial. El modo de fallas está relacionado con el proceso y está compuesto por tres elementos [25]: efecto, causa y detección. El efecto es la consecuencia de lo que la falla puede causar al cliente, la causa es lo que indica la razón por la que se produjo el error y la detección es la forma utilizada en el control del proceso para evitar las posibles fallas. El FMEA tiene por objetivo identificar, delimitar y describir las inconformidades (modo de la falla) generadas por el proceso, efectos y sus causas, a través de acciones de prevención para poder disminuir o eliminar estados de operación fallida.

### **1.7.1. Aplicación del FMEA**

La aplicación de FMEA es útil para disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallas en proyectos de nuevos productos o procesos. Además, se usa para disminuir la probabilidad de fallas potenciales (que aún no hayan ocurrido) en productos o procesos

en operación haciendo uso de datos analizados de fallas sucedidas con anterioridad. En consecuencia, FMEA permite disminuir los riesgos de errores permitiendo aumentar la calidad de los procesos administrativos.

### 1.7.2. Etapas de la concepción del FMEA

- Definir el proceso que será analizado.
- Definir el equipo, priorizando los aspectos multidisciplinarios.
- Definir la no conformidad (modo de falla).
- Identificar sus efectos.
- Identificar su causa principal y otras causas.
- Priorizar las fallas a través del nivel de riesgo.
- Actuar a través de acciones preventivas (detección).
- Definir el plazo y el responsable de la acción preventiva.

Con la Tabla 2 se propone el formato que se usa para el análisis de fallas y efectos aplicados a las máquinas. Esta plantilla permitirá recabar información de valor para poder organizar y planificar las diferentes actividades de planificación en el departamento de mantenimiento.

Tabla 2. Análisis de fallas y efectos. Fuente: Autor.

AMFE DE PROYECTO:	AMFE DE PROCESO:	Denominación del componente Parte del Proceso	Código de identificación del componente	Hoja:													
Producción	Micronización	Molino De Rodillos	MMLL	1 de 1													
FECHA DE INICIO: 11/5/2020	NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:	COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)	EQUIPO/MODELO/SISTEMA /FABRICACIÓN	Departamento:													
FECHA REVISIÓN:	Diego Flores	Mantenimiento	Sistema de transporte de material	Producción/Micronización													
	FALLOS POTENCIALES	ESTADO ACTUAL		SITUACIÓN DE MEJORA													
OPERACIÓN OFUNCIÓN	FALLO N°	MODOS DE FALLO	EFEECTO	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	Frecuencia	Gravedad	Dirección	IPR	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE/PLAZO	ACCIONES IMPLANTADAS	Frecuencia	Gravedad	Dirección	IPR	Repuestos

Después se busca identificar los índices de riesgo, se jerarquizan a través de los pesos asignados a cada uno de los ítems, donde:

- Ocurrencia de causa (O): Probabilidad de que la causa provoque una falla.
- Gravedad del efecto (G): Severidad de la falla en caso de presentarse.

- Detección de fallas: Es la probabilidad de que se detecte el error.

Finalmente, FMEA es una herramienta útil la identificación de las fallas y brinda soporte para tomar acciones preventivas y correctivas. De esta forma la confiabilidad de los procesos y el aseguramiento de metas establecidas pueden ser logrables mediante el cumplimiento de la producción y despacho hacia los consumidores o clientes.

Con la Tabla 3 se presenta la ponderación asignada para evaluar el impacto operacional de las máquinas y equipos anexos a la planta industrial. Esta ponderación busca identificar el nivel de impacto a nivel operativo de la planta, es decir, busca determinar si la falla genera o no impactos operativos dentro de los procesos. Entonces, con la Tabla 3 se considera en qué medida afecta la falla de una máquina en el proceso de producción.

Tabla 3. Ponderación de impacto operacional. Fuente: Autor.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
Parada total de la planta	10
Parada de más del 70% de la producción	7
Impacto a nivel de inventario	4
No genera ningún efecto	1

Para evaluar la seguridad, ambiente y salud ocupacional se usa la Tabla 4, donde, se involucra la seguridad humana, la afectación de las instalaciones y daños menores. Es importante considerar la ponderación de la Tabla 4, ya que, busca introducir variables que relacionan la seguridad operacional y humana.

Tabla 4. Ponderación para impacto en seguridad, ambiente e higiene. Fuente: Autor.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	8
Afecta a ambientes e instalaciones	7
Afecta a instalaciones	5
Provoca daños menores	3
No genera ningún efecto	1

La frecuencia de fallas se presenta con la Tabla 5 y busca relacionar el número de fallas anuales posibles en las que puede incurrir una máquina o equipo anexo a la planta de producción o tratado.

Tabla 5. Ponderación para frecuencia de fallas. Fuente: Autor.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
Alta, mayor a 6 fallas/año	4
Media, 3 – 6 fallas/año	3
Baja, 1 – 3 fallas/año	2

Un elemento adicional para poder establecer la prioridad de fallas, en función de su criticidad, es la flexibilidad operacional. Un equipo tiene mayor flexibilidad operacional si este cuenta con repuestos. Es decir, si un equipo comparte repuestos con otras máquinas y, en su defecto, no existe en el mercado los respectivos repuestos se dice que son equipos o máquinas de baja flexibilidad operacional. Esto puede incurrir en tiempos de mayor paro de máquinas y con ello verse afectada la operación. En la Tabla 6 se muestra la ponderación para evaluar la flexibilidad operacional de las máquinas en la planta de producción.

Tabla 6. Ponderación para flexibilidad operacional. Fuente: Autor.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
No hay repuesto	4
Repuesto compartido	2
Disponibilidad de repuesto	1

Un parámetro adicional para evaluar la prioridad de fallas, según su criticidad, es considerar el costo del mantenimiento en el cual incurriría el mantenimiento según su gravedad. Con la Tabla 7 se expone la ponderación asignada para evaluar la prioridad de falla.

Tabla 7. Ponderación en función del costo de mantenimiento. Fuente: Autor.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
$\geq 25000$	3
$\leq 25000$	1

Ahora con la Tabla 8 se presenta la escala de referencia que permitirá evaluar la prioridad de fallas en función de su criticidad. Esta escala de referencia permitirá otorgar al planificador una idea clara de la prioridad de falla y con ello la prioridad de mantenimiento dentro de los procesos o tareas asignadas al departamento de mantenimiento. Además, se ha asignado una escala de colores para hacer referencia a los equipos de criticidad alta con color rojo (A), de color amarillo para equipos de criticidad media (M) y de color verde para equipos de criticidad baja (B).

Tabla 8. Escala de referencia para interpretación de prioridades de fallas. Fuente: Autor.

Escala de referencia	A / Crítica	M / Medio	B / Baja
	65 - 100	35 - 64	20 - 34
Descripción	Se debe realizar cambios significativos en el sistema	Riesgo moderado, se deben tomar acciones y realizar evaluaciones selectivas para implantar mejoras	Riesgo menor, alguna acción se debe tomar.

### 1.8 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Wang et al. [26] analiza conceptos de MP en los cuales, según el análisis de una operación, el MP puede reducir la tasa de incidencia de falla del equipo. Por tanto, el MP razonable es una forma eficaz de mejorar el índice de utilización de los equipos para lograr la máxima eficiencia de los activos. El MP es más efectivo que el mantenimiento correctivo (MC), dado que, siempre se trata de mantener un sistema disponible para evitar pérdidas al presentarse una falla [6], [27]–[29]. El MP consiste en un conjunto de acciones y técnicas administrativas de gestión que se usan para aumentar la vida útil de los componentes con el fin de mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de un sistema. Además, con acciones de MP se reduce la probabilidad de falla o el nivel de degradación de un componente del sistema.

El mantenimiento debe ser prioritario en las actividades productivas, ya que, los operadores de producción están muy familiarizados con el funcionamiento de los equipos y, en consecuencia, pueden realizar actividades básicas de mantenimiento del equipo de manera periódica [30]. Esta práctica resulta muy efectiva porque se asegura

que esté la máquina en óptimas condiciones de funcionamiento antes durante y después del proceso productivo.

### **1.9 Técnicas del mantenimiento contemporáneo moderno**

Los nuevos conceptos de la industria 4.0 también involucran el desarrollo o actualización de técnicas de mantenimiento, las cuales, deben sintonizar con la evolución tecnológica de las industrias. En Cachada et al. [31], se concluye que hoy en día, el mantenimiento se considera parte integral del proceso de fabricación que contribuye a la calidad del producto, la disponibilidad de la planta y la capacidad para cumplir con los plazos de entrega. Esto es particularmente importante en las empresas de fabricación que adoptan filosofías de gestión modernas. La creciente importancia de la gestión del mantenimiento ha generado un interés creciente en el desarrollo e implementación de estrategias de mantenimiento eficientes que sean capaces de mejorar la confiabilidad del sistema, prevenir fallas del sistema y reducir los costos de mantenimiento. En este contexto, las políticas de mantenimiento predictivo pueden considerarse herramientas importantes para las industrias en la era de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) actuales. La arquitectura de un sistema de mantenimiento inteligente y predictivo es imprescindible tal como se menciona en las investigaciones de Alves et al. [32], Aivaliotis et al.[33], Prodanov et al. [34]. Esta arquitectura considera el análisis avanzado y en línea de los datos recolectados para la detección temprana de la ocurrencia de posibles fallas en la máquina. Además, esta información sirve de apoyo a los técnicos durante las intervenciones de mantenimiento proporcionando un soporte de decisión inteligente guiado y asistido. El sistema propuesto amplía las funcionalidades básicas del mantenimiento basado en la condición (MBC) con la integración de sistemas de soporte de decisiones y tecnologías de realidad aumentada para potenciar la interacción entre humanos y máquinas. Esto permite mejorar el rendimiento de la ejecución de intervenciones de mantenimiento. Finalmente, Bousdekis et al. [35] en su investigación concluye que la evaluación del desempeño es una necesidad para cualquier industria hoy en día, incluso en su forma más simple. La evaluación del desempeño del proceso de mantenimiento es un tema complejo, ya que involucra varias entradas, salidas y partes interesadas. Con la Figura 3 se ilustra un ejemplo de aplicación de herramientas tecnológicas en un motor industrial.

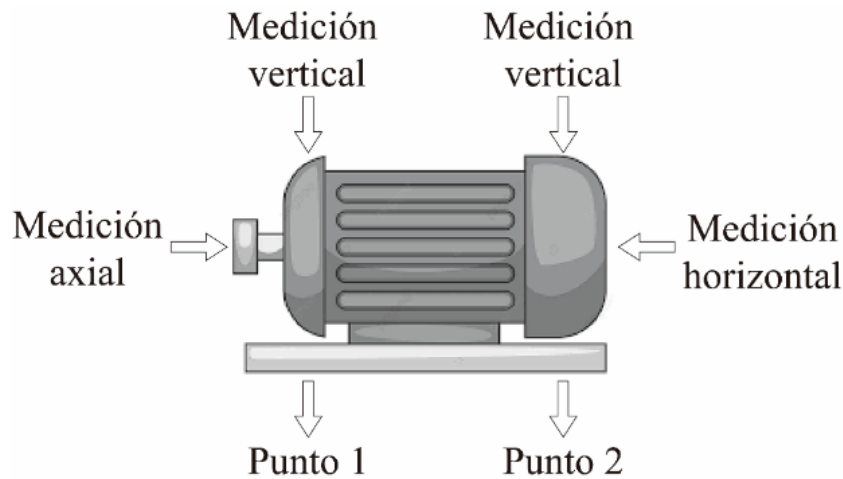


Figura 3. Uso de tecnología como herramienta de análisis predictivo [36].

La tecnología actual permite recopilar información de puntos sensibles de una máquina rotativa con la instalación de un sensor que permita recopilar información. En la Figura 3 se aplica un sensor que recoge información de vibración en cada punto de la máquina rotativa. El sensor captura información axial, vertical y horizontal, como lo indica la Figura 3. En consecuencia, el análisis de vibración es una herramienta que se usa para saber el estado de los equipos. Las rutas de vibración permiten detectar anomalías que no son detectadas en las rutas de mantenimientos preventivos y correctivos.

Con la Tabla 9 se presenta los datos de vibración de una máquina motriz industrial. Los datos recolectados por las herramientas tecnológicas contribuyen a la administración y gestión de mantenimientos en la planta de producción. Se ha logrado recabar información en la planta como aceleración, vibración, desplazamiento y envolvente. Las unidades de cada parámetro se detallan en la Tabla 9. La disponibilidad de estos datos permite también hacer evaluaciones de valores y tendencias para estimar o anticipar fallos en los equipos esta información esta presentada en el sistema SCADA para control de los procesos productivos de planta y presenta valores en tiempo real con parametrización de alarmas para monitoreo de las variables de proceso y que, cuando estas presenten un valor atípico fuera de los rangos de control se pueda intervenir en los equipos antes de su eventual falla o paro.



Tabla 9. Información característica de máquina motriz en molino *MyMill* 1. Fuente: Autor.

VARIABLES:	ACELERACIÓN	VIBRACIÓN	DESPLAZAMIENTO	ENVOLVENTE
	[g]	[mm/s]	[ $\mu$ m]	[gE]
1 – VERTICAL	0.81	16.56	713.90	2.37
1 – HORIZONTAL	0.69	9.32	367.40	2.03
2 – VERTICAL	1.05	9.46	342.20	6.27
2 – HORIZONTAL	1.22	5.78	167.30	7.08
2 – AXIAL	1.38	4.33	105.00	5.13
3 – VERTICAL	7.87	21.55	461.80	21.50
3 – HORIZONTAL	7.30	20.17	395.90	19.09
3 – AXIAL	7.47	21.95	498.30	16.76
4 – VERTICAL	6.01	14.07	213.60	24.34
1 – VERTICAL	0.96	8.00	226.50	2.05
1 – HORIZONTAL	0.98	12.49	502.20	2.49
2 – VERTICAL	0.98	8.17	223.50	2.63
2 – HORIZONTAL	1.38	8.17	174.50	3.19
2 – AXIAL	1.57	6.86	124.50	4.35
3 – AXIAL	3.89	9.40	117.20	8.30

## 1.10 Indicadores de gestión

Es necesario evaluar el rendimiento de un activo de ingeniería para gestionarlo. En consecuencia, la función de mantenimiento, en cualquier contexto, es fundamental que su desempeño tanto desde del exterior (el impacto en el proceso de negocio) como interior (los procesos de trabajo en el propio mantenimiento) sean evaluados. Existen múltiples criterios para medir el desempeño como: necesidades jerárquicas, toma de decisiones y la integración entre varias agencias funcionales [37].

### 1.10.1 MTBF

Uno de los indicadores de gestión del mantenimiento más importante es el Tiempo Medio Entre Averías (MTBF, de sus siglas en inglés *Mean Time Between Failures*). Es un indicador de disponibilidad de un equipo y representa el promedio del tiempo que transcurre entre dos averías en un mismo equipo. Cuanto más elevado sea el valor de MTBF el funcionamiento de los equipos es más fiable [30].

### 1.10.2 Método de cálculo del MTBF

El cálculo del MTBF se hace con base en la diferencia entre el tiempo total disponible y el tiempo de para de los equipos, dividido por el número de eventos de para. Y se cuantifica mediante la ecuación (1) [38]:

$$MTBF = \frac{TTD - TTP}{NEP} \quad (1)$$

Donde,

TTD, es el tiempo total disponible

TTP, tiempo total de paras

NEP, numero de eventos de parada.

### 1.10.3 MTTR

Uno de los indicadores de gestión del mantenimiento y es el tiempo medio de reparación (MTTR de sus siglas en inglés *Mean Time To Repair*) y sirve para medir el tiempo promedio para reparar una falla. El MTTR considera el período de tiempo entre el tiempo de inicio de la falla hasta el tiempo en que el equipo es habilitado nuevamente. Dentro de este tiempo se puede considerar estaos factores: Diagnosticando el problema, Notificando a los técnicos de mantenimiento, intervención de equipo y finalmente las pruebas de funcionamiento. Se busca que este valor sea siempre el mínimo posible [39], [40].

### 1.10.4 Método de cálculo del MTTR

El cálculo del MTBF se hace con base en la diferencia entre el tiempo total del mantenimiento y el número de reparaciones realizadas al equipo o equipos. Y se cuantifica mediante la ecuación (2) [41]:

$$MTBF = \frac{TTR}{NR} \quad (2)$$

Donde,

TTR, tiempo total de reparación

NR, Número de reparaciones.

### 1.11 Disponibilidad

La disponibilidad es un indicador que representa el tiempo total que un equipo está listo para su uso y es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada entre más alto sea este valor se considera más confiable la operación [42].

### 1.12 Método de cálculo de disponibilidad y capacidad de mantenimiento

Para calcular la disponibilidad se necesita el tiempo disponible mediante la resta entre el tiempo total y el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada y esto dividido por el tiempo total disponible. Y se expresa mediante la ecuación (3) [43]:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TTD - TTP}{TD} \quad (3)$$

Donde,

TTD, es el tiempo total disponible

TTP, tiempo total de paras

TD, tiempo disponible.

La capacidad de mantenimiento preventivo está en función del tiempo necesario para realizar las actividades de mantenimiento. La capacidad permite analizar la viabilidad del plan de mantenimiento, es decir, si el tiempo dedicado para el mantenimiento es suficiente o no para ejecutar las diferentes actividades de mantenimiento. En la ecuación 4 se presenta la formulación matemática [44].

$$\text{Tiempo necesario} = \text{lub} + \text{rev} + \text{mp} = 16832h \quad (4)$$

Donde:

lub = rutas de lubricación

rev = rutas de revisión y limpieza

mp = Horas para mantenimiento preventivo

Nota: Para obtener el tiempo de parada por mantenimiento se debe considerar las horas de parada de mantenimiento programado y no programado [45].

### 1.13 Contexto de la organización a implementar la gestión de mantenimiento

La empresa de producción de CaCO<sub>3</sub> es una organización con una estructura de funcionamiento que soporta su operación en su SIG. Los departamentos se encuentran muy bien definidos e interactúan entre sí para cumplir con el objetivo de toda empresa que es generar ganancia y permanecer en el mercado [46]–[48] cumpliendo con estándares internacionales de calidad. Los departamentos que conforman la organización son: alta gerencia, producción, calidad, financiero, talento humano, proyectos, sistemas, mantenimiento, compras y transporte.

Todos estos procesos cuentan con su estructura interna y el objeto principal del presente documento es mejorar la gestión del departamento de mantenimiento observando los requerimientos de los equipos de la planta de producción nueva. Con las Figuras 4 se presenta el proceso de producción para normas ISO 9001.4.1. Debido a que la empresa cuenta con un SIG que da las directrices para que la operación cumpla con los requerimientos de calidad, seguridad y ambiente [49], [50] se establece la interacción entre los departamentos que la conforman tal como se muestra en la Figura 4 donde se busca reducir los accidentes laborales, incidentes ambientales y quejas por parte del cliente.

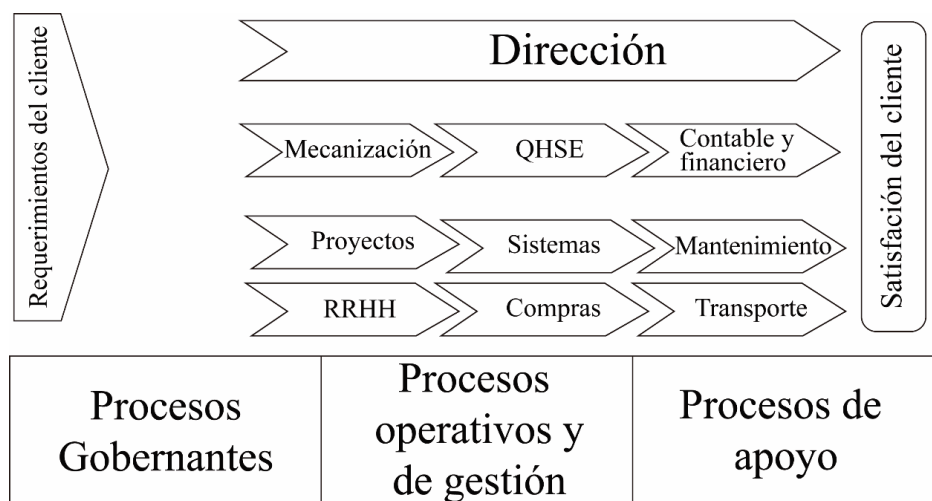


Figura 4.- Proceso de la planta de producción para normas ISO 9001.4.1 [51].

SIG relaciona la calidad, medio ambiente, seguridad, salud ocupacional y seguridad de la información. Su alcance puede depender de las partes interesadas de una organización. SIG, según sea el caso, puede integrarse de manera parcial, es decir que la integración de sistemas puede estar formado únicamente por dos de los sistemas de gestión [52]–[54]. En la Figura 5 se ilustra la importancia y su integración dentro de un sistema de gestión.

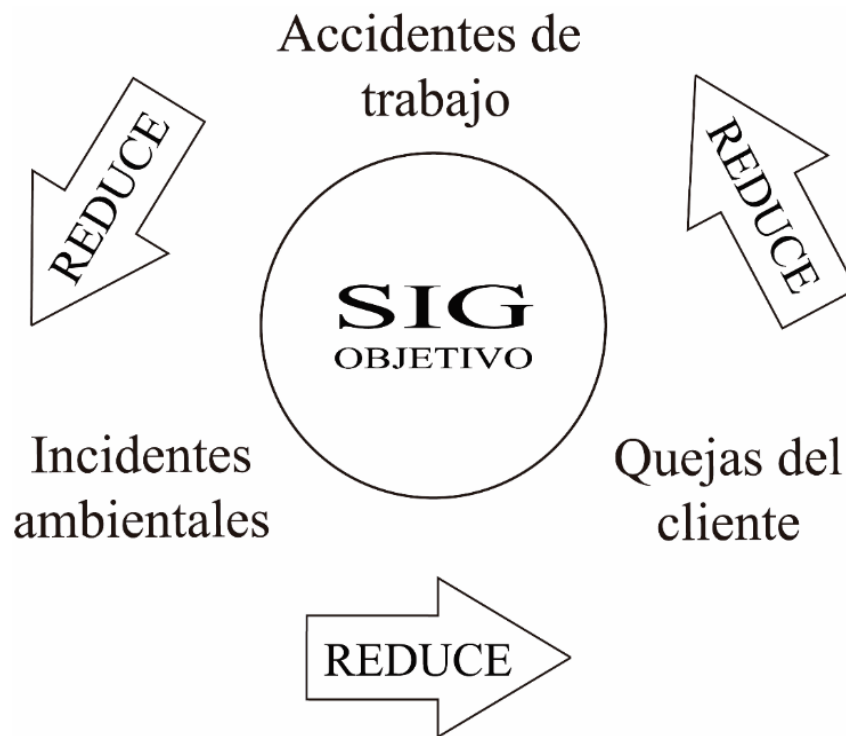


Figura 5.- Importancia del sistema integrado de gestión [55].

Para que las diferentes acciones ejecutadas por el departamento de mantenimiento logren sus objetivos como lo es garantizar el volumen de la producción resulta necesario mantener constantes diálogos entre los diferentes departamentos de la planta. Entre los más importantes se describen la producción, el departamento comercial y la cadena de distribución como se presenta con la Figura 6.

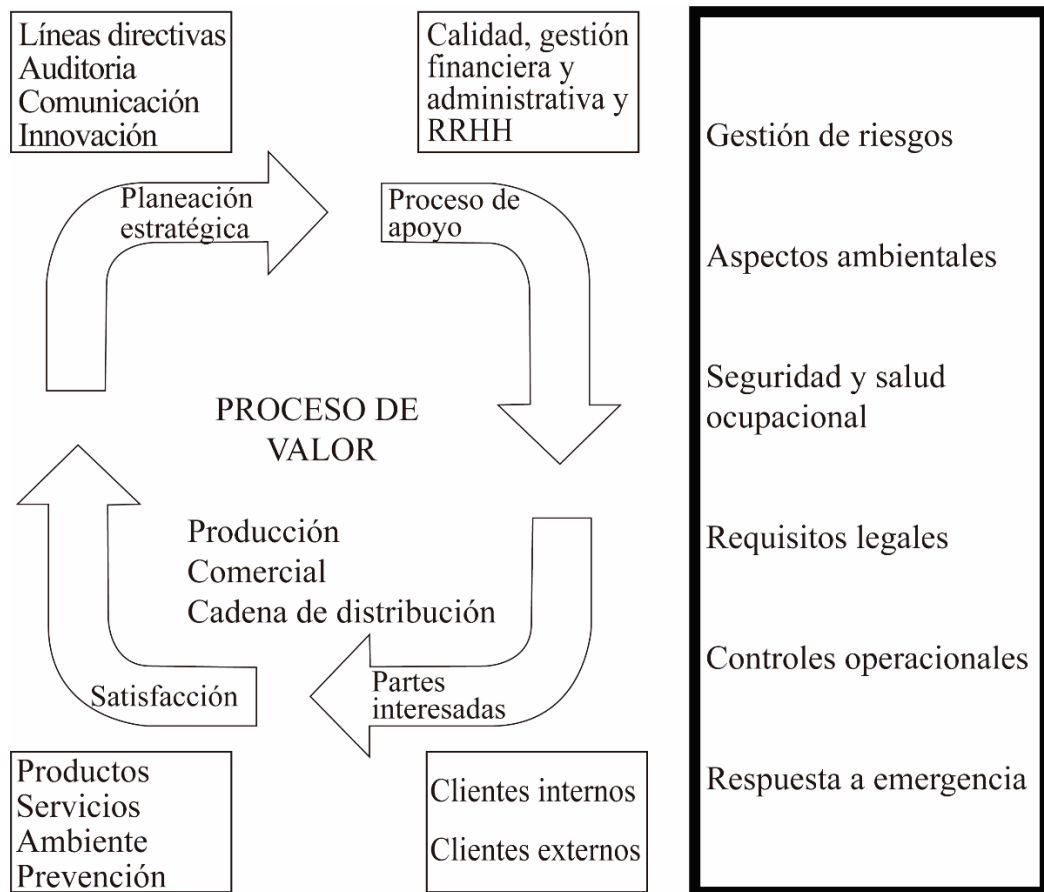


Figura 6.- Interacción de procesos del sistema integrado de gestión [56].

### 1.14 Resumen del capítulo

En el presente capítulo se desarrolla de forma teórica la información inherente a los conceptos relacionados con el mantenimiento industrial, como son: la evolución del mantenimiento desde el inicio hasta llegar a la época actual con la aparición del último desarrollo tecnológico es decir la industria 4.0, también se explica las herramientas mantecnológicas necesarias en el caso de estudio para lograr el objetivo principal que es la estructuración del departamento de mantenimiento y de igual manera las herramientas de apoyo tecnológicas y administrativas para la gestión del área con la explicación del cálculo de los indicadores de gestión para seguimiento del desempeño del área de mantenimiento y la información completaría del contexto de la operación de la empresa donde se prone hacer la investigación.

## CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE LA ESTRUCTURACIÓN DE LA GESTIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

### 2.1. Estructuración del departamento de mantenimiento

La gestión de mantenimiento es parte fundamental en la operación de la empresa ya que, es el área que garantiza el funcionamiento del equipamiento. La propuesta del departamento de mantenimiento está dada por una estructura jerárquica simple, es decir, con la jefatura del departamento a la cabeza y varios técnicos permanentes de diferente perfil que garanticen el cumplimiento de las actividades de mantenimiento. Los perfiles de los técnicos permanentes son eléctrico, mecánico, electrónico y administrativo (planificador del mantenimiento). Como perfil auxiliar se designa a los proveedores de servicios. Con la Figura 7 se ilustra las funciones de cada uno de los técnicos permanentes y del auxiliar de servicios. La necesidad de incrementar personal con conocimiento específico se justifica dado que la nueva planta de producción cuenta con equipamiento de mayor tecnología y, por ende, es necesario advertir la necesidad de adherir al departamento de mantenimiento a personal técnico de conocimientos específicos.

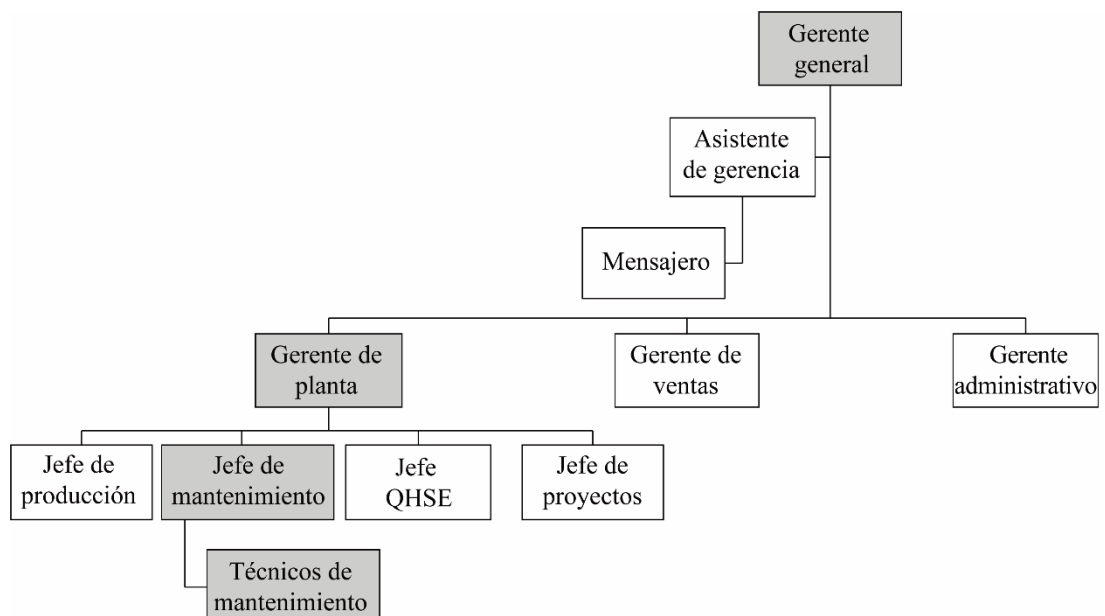


Figura 7.- Ubicación jerárquica del departamento de mantenimiento. Fuente: Autor.

Una vez establecida la función del departamento de mantenimiento es necesario establecer la estructura del área mediante la definición de funciones de cada cargo perteneciente al área de mantenimiento. La propuesta de la estructura de mantenimiento demanda la necesidad de una jefatura que lidere y organice el área con la ayuda de diferentes técnicos para atender las necesidades de planta. A continuación, se detalla los técnicos a requerir en la implementación de la estructura del departamento de mantenimiento:

- Técnico especialista eléctrico
- Técnico especialista mecánico
- Técnico especialista electrónico
- Planeador de mantenimiento (Tecnólogo industrial)

Como área de soporte del departamento se considera el apoyo de personal externo mediante las empresas de prestación de servicios y suministros dentro de los más importantes tenemos los siguientes:

- Empresa de servicio técnico de equipos eléctricos (motores, transformadores, tableros eléctricos, entre otros)
- Empresa de servicio técnico mecánico para reparación y fabricación de piezas.
- Empresa de servicio técnico de equipos electrónicos.
- Empresa de prestación de servicios de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía, alineación y balanceo de equipos, análisis de aceites, análisis de modos de falla de piezas mecánicas)
- Empresa de aprovisionamiento de equipos partes y piezas eléctricas y electrónicas de automatización industrial.
- Empresa de aprovisionamiento de partes y piezas mecánicas

Para contextualizar la organización del departamento de mantenimiento con la Figura 8 se detalla el Organigrama del departamento de mantenimiento que se propone con el presente trabajo.



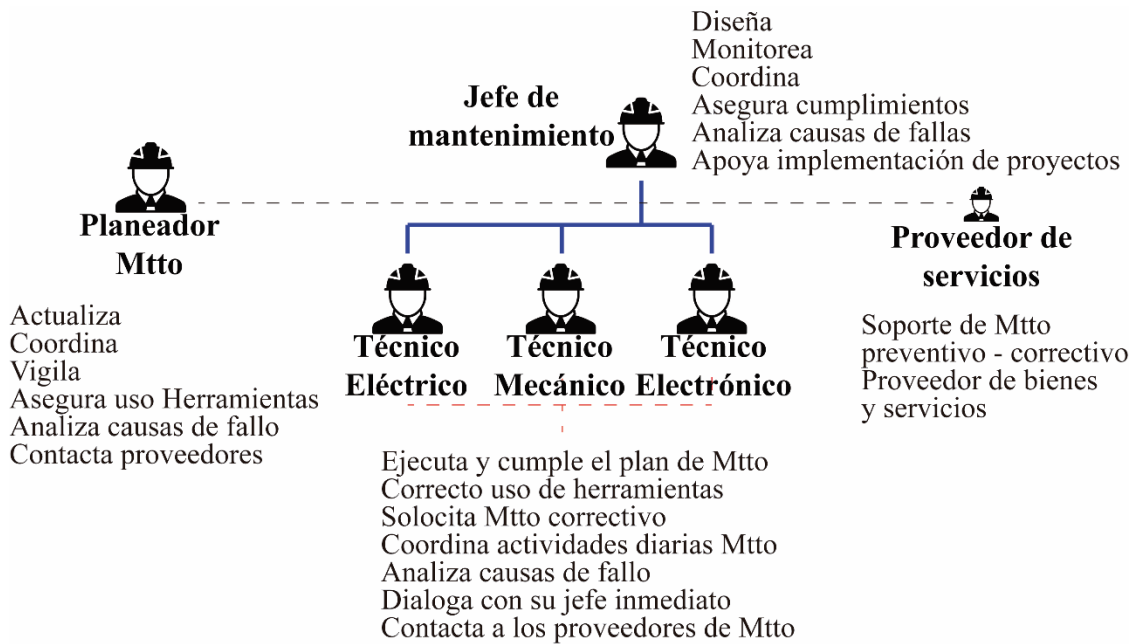


Figura 8.- Estructura de organigrama de Mantenimiento propuesto. Fuente: Autor.

## 2.2. Horarios de trabajo de planta

En el nuevo sitio de producción de la empresa se ha hecho una mejora en todas las áreas tanto en su organización interna como en los espacios físicos. Por otro lado, con la planta de producción se prevé operar 24 horas por 5 días a la semana, lo que, hace flexible el campo de acción de mantenimiento y de esta forma el horario de trabajo de mantenimiento se ajusta a un turno de 8 horas 5 días a la semana.

## 2.3. Elaboración del plan de mantenimiento

Para la planificación de las actividades de mantenimiento es fundamental estructurar un plan de mantenimiento que observe todos los equipos del proceso productivo. Dichos planes de mantenimiento deben garantizar actividades necesarias con frecuencias de intervención en cada equipo. Este plan debe considerar la información entregada por los fabricantes es decir los catálogos de operación y mantenimiento de los equipos respecto a revisiones periódicas.

La asignación de frecuencias de revisión se establece en función de la experiencia adquirida por la operación y manejo de los equipos anexos a la cadena de producción y a un análisis de los modos de falla de los equipos. Un detalle fundamental es que al hacer de mantecnologías actuales como las mencionadas anteriormente en el presente documento (TPM, RCM, AMFE), de las cuales, se podrá extraer información de

mucho interés para establecer el plan de mantenimiento. Además, con el apoyo de nuevas tecnologías que nos permiten recoger información de las máquinas en tiempo real como: vibración, temperatura y presión serán de gran apoyo para garantizar asignaciones eficientes, bajo cronogramas específicos, para la ejecución las actividades de mantenimiento en la línea de producción.

Finalmente, el registro de frecuencias de mantenimientos y la programación de actividades preventivas se hace uso de GMAO (Gestión de Mantenimiento con Ordenador). Mediante el uso de un archivo basado en hojas de cálculo para automatizar las tareas de mantenimiento, se realiza la programación de frecuencias tanto para las actividades de rutinarias de lubricación, actividades fijas de revisión, limpieza, actividades específicas programadas en cada equipo y para la generación de las ordenes de trabajo necesarias.

Dentro de la planificación del cronograma de las actividades del departamento antes mencionadas es importante definir la disponibilidad de los equipos, ya que, el ritmo de trabajo continuo amerita ejecutar procesos de mantenimiento. Con la ayuda de hojas de cálculo se visualizará la programación semanal y anual para distribuir las ordenes de trabajo de cada uno de los equipos considerando la periodicidad de intervención. Además, la importancia de definir un cronograma ayudará a prever el recurso humano necesario y asignar de manera equitativa la carga laboral para los técnicos de mantenimiento.

Otro aspecto importante es la categorización de equipos, donde, se asigna categorías en función de su importancia en la operación. Estas categorías permiten asignar frecuencias fijas de menor tiempo de ejecución como son las rutinas fijas de lubricación de equipos y las rutinas fijas de revisión y limpieza de estos, así como las actividades específicas de mantenimiento a los equipos a intervenir. Es decir, asignar categorías a los equipos permite establecer tiempos más cortos o largos dependiendo de la función del desempeño y la naturaleza de cada equipo en la cadena de producción.

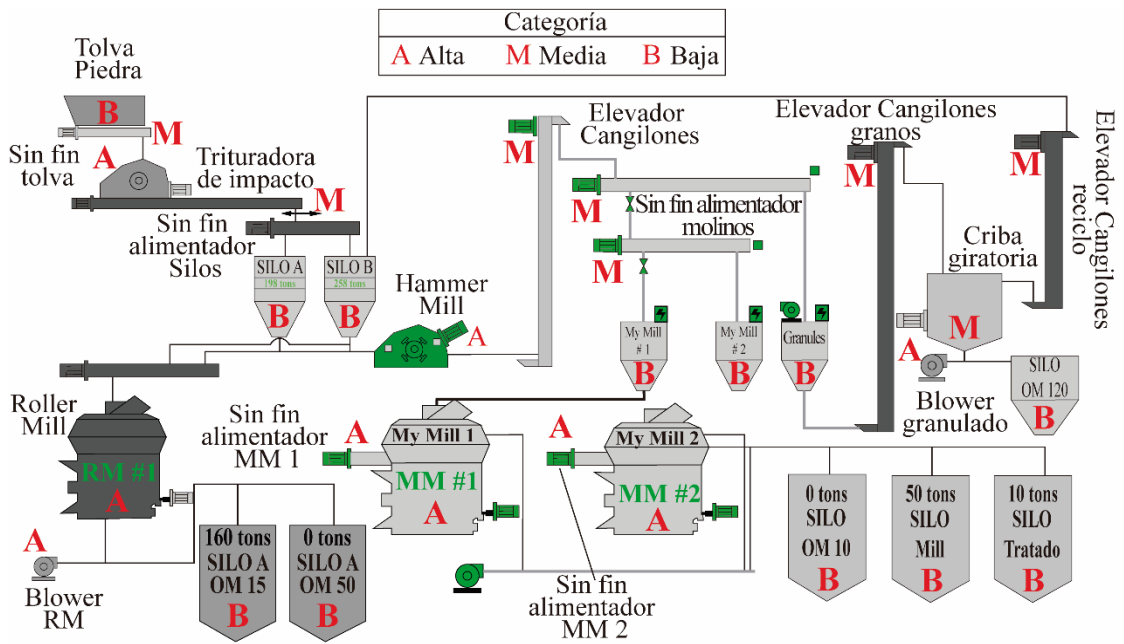


Figura 9. Diagramación de la estructura de procesos de molienda de la planta.

Fuente: Autor.

Con las Figura 9 y 10 se presenta el diagrama de la cadena de proceso donde se detalla los equipos más representativos de la planta de producción, al igual que, se especifica la categoría a la que pertenecen los equipos del área de procesos y permite identificar sus principales funciones dentro de la cadena de producción.

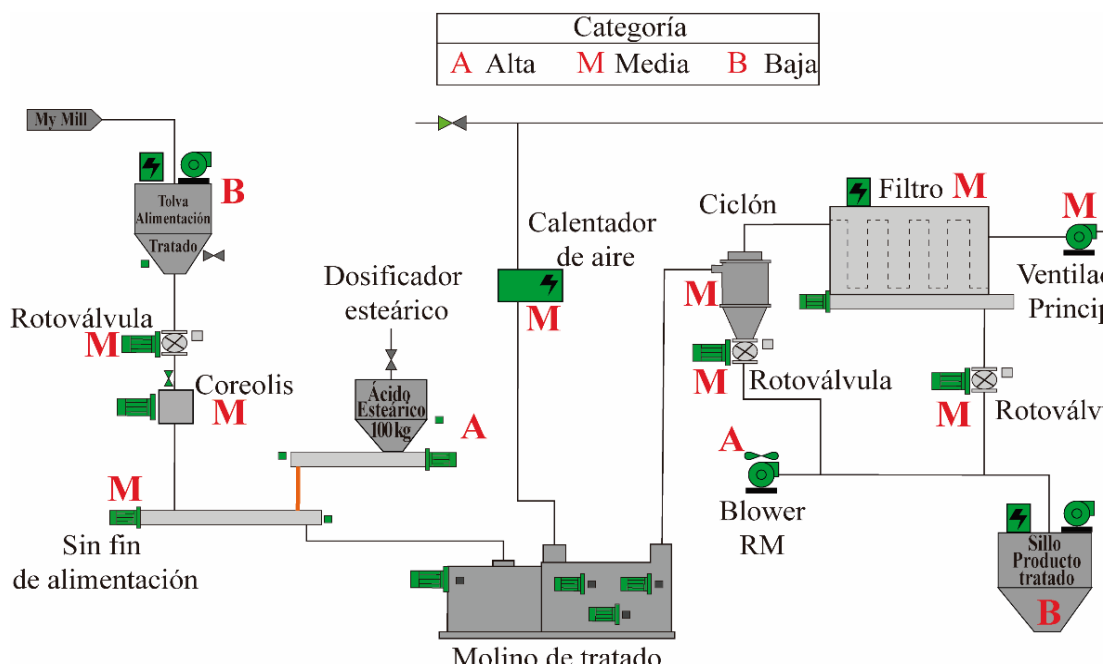


Figura 10. Diagramación del proceso de tratado de la planta de producción. Fuente:

Autor.

Las líneas de producción de procesos y tratado representan la estructura de forma compacta de la cadena de producción. En el Anexo 1 se puede observar la distribución de todos los equipos de producción que conforman la totalidad de equipos productivos. Además, se muestra el costo total de la maquinaria instalada para destacar la importancia del plan de mantenimiento considerando que la inversión en maquinaria justifica la gestión del departamento de mantenimiento y cuidar los bienes de la empresa.

Al disponer de las cadenas de proceso y tratado del producto es de mucha ayuda para clasificar, según la criticidad, a las máquinas que forman parte de la planta industrial. El análisis de criticidad indica el riesgo permitiendo a los planificadores de mantenimiento otorgar jerarquías o prioridades de procesos, sistemas y elementos de un equipo. El objetivo de asignar jerarquías a los equipos, dentro de las cadenas de producción, radica en que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas en las tareas de mantenimiento preventivo.

Además, permite centrar esfuerzos orientados a cubrir los requerimientos de mantenimiento que permitirán mantener la cadena de producción en constante actividad. Dicho de otra manera, el análisis de criticidad permitirá mejorar la confiabilidad y disminuir el riesgo de paro de los equipos. Para poder determinar cuantitativamente la criticidad de una máquina se multiplica la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de esta, estableciendo rangos de valores de 65 a 100 para equipos críticos (A), 35 – 64 para equipos de criticidad media (M) y 20 – 34 criticidad baja (B).

Con las ecuaciones (5) y (6) se evalúa la criticidad de las máquinas y equipos y se logra asignar un nivel de criticidad en cada una de las máquinas. Es de suma importancia observar que las variables que intervienen para el análisis de la criticidad de las máquinas y equipos de la planta involucran, de manera cuantitativa al impacto operacional, impacto de seguridad, ambiente e higiene, frecuencias de fallas, flexibilidad operacional y costos de mantenimiento [57].

$$\text{Criticidad} = f \times c \quad (5)$$

Donde:

$$f (\text{frecuencia}) = \text{Rango de fallas en un tiempo determinado}$$

$$c (\text{consecuencia}) = ((IO * FO) + CM + QSHE) \quad (6)$$

A continuación, se presenta la Tabla 10 la cual ilustra el método aplicado para la identificación de máquinas críticas en el proceso de la planta.

Tabla 10. Propuesta para la evaluación de la criticidad de las máquinas y equipos.

Fuente: Autor.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	<i>My Mill</i>	<b>Marca:</b>	-
<b>Función que realiza</b>	Molienda de piedra caliza CaCO <sub>3</sub>	<b>Modelo</b>	YFG180
<b>Ubicación</b>	Edificio de proceso	<b>N° Serie:</b>	-
<b>Velocidad de sin fin</b>	660 RPM	<b>Observaciones:</b>	Molino de rodillos
<b>PROPIEDADES PARA EVALUACIÓN</b>			
<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Evaluación</b>
<b>Impacto Operacional (IO)</b>			
Parada total de la planta	10		10
Parada de más del 70% de la producción	7		
Impacto a nivel de inventario	4		
No genera ningún efecto	1		
<b>Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene (QSHE)</b>			
Afecta la seguridad humana	8		
Afecta ambientes e instalaciones	7		
Afecta a instalaciones	5		
Provoca daños menores	3		3
No genera ningún efecto	1		
<b>Frecuencia de Fallas (FF)</b>			
Alta, mayor a 6 fallas/año	4		
Media, 3 - 6 fallas/año	3		3
Media, 1 - 3 fallas/año	2		
<b>Flexibilidad Operacional (FO)</b>			
No hay repuesto	4		
Repuesto compartido	2		2
Disponibilidad de repuesto	1		
<b>Costo de mantenimiento (CM)</b>			
≥ 25000	3		3
≤ 25000	1		
Total			78
Criticidad			<b>A</b>

Con la Tabla 11 se expone la criticidad de cada máquina inherente al proceso industrial. En color rojo se describe los equipos de alta criticidad, de color amarillo los equipos de criticidad media y de color verde los equipos de criticidad baja.

Tabla 11. Criticidad para equipos de proceso y tratamiento de la planta. Fuente:  
Autor.

<i>ITEM</i>	<i>EQUIPO</i>	<i>CODIFICACIÓN</i>	<b>FRECUENCIA DE FALLAS (FF)</b>	<b>IMPACTO OPERACIONAL (IO)</b>	<b>FLEXIBILIDAD (FO)</b>	<b>COSTO DE MITO (CM)</b>	<b>IMPACTO (QSHE)</b>	<b>CONSECUENCIA</b>	<b>CRITICIDAD TOTAL</b>	
1	My Mill 1	P-MM-MM1-01	2	10	4	3	7	50	100	A
2	My Mill 2	P-MM-MM2-02	2	10	4	3	7	50	100	A
3	Roller Mill 1	P-RM-RM-01	2	10	4	3	7	50	100	A
4	Sin fin alimentador MyMill 1	P-RM-SF-01	4	7	2	1	5	20	80	A
5	Trituradora de impacto	T-TR-IC-01	4	7	2	3	3	20	80	A
6	Blower granulado	P-GR-BL-01	4	7	2	1	3	18	72	A
7	Compresor 100HP	S-SG-CM-01	4	7	2	1	3	18	72	A
8	Blower MM 1 y 2	P-MM-BL-01	4	7	2	1	3	18	72	A
9	Blower RM	P-RM-BL-03	4	7	2	1	3	18	72	A
10	Dosificador acido esteárico	P-TT-DO-01	3	7	2	3	7	24	72	A
11	Molino de tratado	P-TT-MT-01	3	7	2	3	7	24	72	A
12	Hammer Mill	P-MM-HM-01	3	7	2	3	5	22	66	A
13	Calentador de aire	P-TT-CA-01	3	4	2	3	5	16	48	M

<b>14</b>	Criba giratoria	P-GR-CR-01	3	4	2	3	5	16	48	M
	Roto válvula									
<b>15</b>	alimentación	P-TT-RV-01	3	4	2	3	5	16	48	M
	tratado									
<b>16</b>	Roto válvula	P-TT-RV-02	3	4	2	3	5	16	48	M
	ciclón									
<b>17</b>	Roto válvula	P-TT-RV-03	3	4	2	3	5	16	48	M
	filtro									
<b>18</b>	Sin fin tolva	P-TT-SI-01	3	4	2	3	5	16	48	M
<b>19</b>	Ciclón Tratado	P-TT-CT-01	3	4	1	3	5	12	36	M
<b>20</b>	Coriolis	P-TT-CO-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	Elevador									
<b>21</b>	cangilones	P-GR-EC-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	trituration									
<b>22</b>	Filtro tratado	P-TT-FL-01	3	4	1	3	5	12	36	M
<b>23</b>	Filtro Roller	P-RM-FL-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	Mill									
<b>24</b>	Filtro <i>My Mill</i>	P-MM1-FL-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	1									
<b>25</b>	Filtro <i>My Mill</i>	P-MM2-FL-002	3	4	1	3	5	12	36	M
	2									
	Sin fin									
<b>26</b>	alimentador de	P-RM-SF-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	Roller Mill									
	Sin fin									
<b>27</b>	alimentador de	P-MM1-SF-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	<i>My Mill</i> 1									
	Sin fin									
<b>28</b>	alimentador de	P-MM2-SF-02	3	4	1	3	5	12	36	M
	<i>My Mill</i> 2									
	Sin fin									
<b>29</b>	alimentador	P-TR-SF-01	3	4	1	3	5	12	36	M
	Silo A									
	Sin fin									
<b>30</b>	alimentador	P-TR-SF-02	3	4	1	3	5	12	36	M
	Silo B									
	Sin fin									
<b>31</b>	alimentador	P-MM-SF-03	3	4	1	3	5	12	36	M
	MM1 MM2									

	Ventilador										
<b>32</b>	principal roller mill	P-RM-VP-01	3	4	1	3	5	12	36	M	
	Ventilador										
<b>33</b>	principal mymill 1	P-MM1-VP-01	3	4	1	3	5	12	36	M	
	Ventilador										
<b>34</b>	principal mymill 2	P-MM2-VP-01	3	4	1	3	5	12	36	M	
	Ventilador										
<b>35</b>	principal tratado	P-TT-VP-01	3	4	1	3	5	12	36	M	
<b>36</b>	Silo 1 (OM 10)	E-EM-S1-01	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>37</b>	Silo 2 (OM 120)	E-EM-S2-02	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>38</b>	Silo 3 (OM 15)	E-EM-S3-03	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>39</b>	Silo 4 (OM 50)	E-EM-S4-04	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>40</b>	Silo A	T-TR-SA-01	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>41</b>	Silo B	T-TR-SB-02	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>42</b>	Silo <i>My Mill</i> #1	P-MM1-SL-01	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>43</b>	Silo <i>My Mill</i> #2	P-MM2-SL-02	2	4	2	1	3	12	24	B	
<b>44</b>	Silo producto tratado	P-TT-SI-01	2	4	2	1	3	12	24	B	
	Tolva										
<b>45</b>	alimentación tratado	P-TT-TA-01	2	4	1	3	5	12	24	B	
<b>46</b>	Tolva piedra	T-TR-TP-01	2	4	1	3	5	12	24	B	

El flujograma de la planta de producción de carbonato de calcio se ilustra con la Figura 11. En ella se puede apreciar que existen 3 procesos fundamentales que son: trituración, molino y tratado.



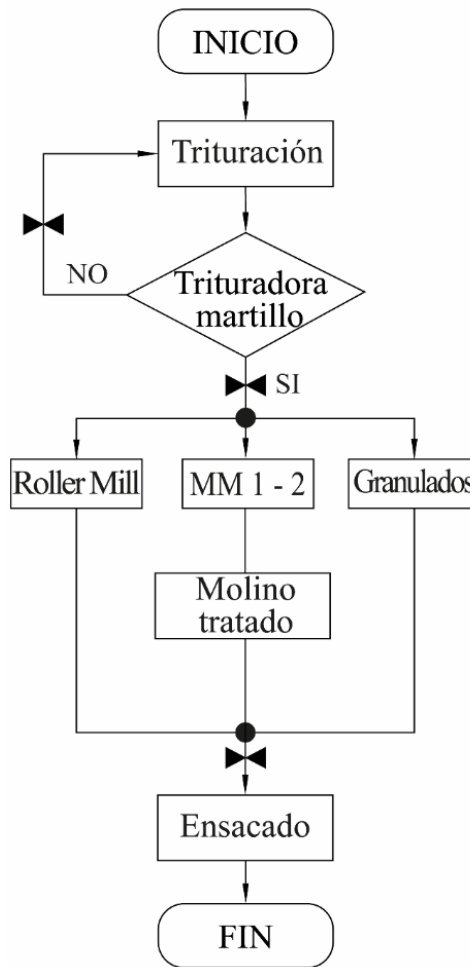


Figura 11. Flujograma de operación de la planta de producción. Fuente: Autor.

### 2.3.1. Planificación de mantenimiento preventivo

Para elaborar un plan de mantenimiento preventivo efectivo resulta necesario elaborar un registro de actividades de mantenimiento. Esto permitirá disponer de un cronograma que contribuye con información relevante para los técnicos, encargados de la ejecución del mantenimiento, en cuanto a la intervención procedimental de la máquina. En consecuencia, es fundamental apoyarse en fichas de mantenimiento de cada tipo y marca de las máquinas a intervenir. Un detalle adicional que se debe considerar es que la planta de producción de carbonato de calcio debe operar 24 / 7, es decir, se prevé que su operación no sea ininterrumpida durante un periodo anual, pero con la disponibilidad de los equipos para realizar los mantenimientos programados.

Por lo tanto, se propone reservar un tiempo equivalente al 10% aproximadamente de las horas totales anuales para dedicar al mantenimiento preventivo con la finalidad de garantizar la máxima operación de los equipos de la planta. Con la Tabla 12 se presenta un ejemplo de ficha técnica para ayuda de identificación de componentes de los

equipos en ella se detalla las partes y componentes que forman parte de los equipos para ayuda de los técnicos en sus intervenciones y posterior registro de novedades encontradas en la ejecución de las ordenes de trabajo.

Tabla 12. Ficha técnica ejemplo *My Mill*. Fuente: Autor.

<b>FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPO</b>		<b>Código:</b> P-MM-MM1-01
		<b>Versión:</b> 02
		<b>Fecha:</b> 10/8/2019
<b>Elaborado por:</b>	Ing. Diego Flores	
<b>Aprobado por:</b>	Ing. Diego Flores	
<b>Fecha:</b>	10/8/2021	
<b>Tipo</b>	<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
1	Descripción:	<i>My Mill</i>
	Código de Fábrica:	YFG130
	Inicio de Operación:	Hammer Mill
	Ubicación:	PROCESOS
	Servicio que Efectúa:	Molienda de CaCO <sub>3</sub>
	Marca:	YFG
	Tipo / Modelo:	Molino de rodillos
	Nº de Serie:	130
	Capacidad:	10tn/h
	Potencia:	200kw
	Procedencia:	China
	Dimensiones (m):	4
2	<b>PARTES DE LOS COMPONENTES</b>	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ITEM</b>
	Sin fin alimentación	1
	Clasificador + motor	2
	Cuerpos de molienda	3
	Motor principal	4
	Bomba de ayuda de molienda	5
	Ciclón + Roto válvula	6
	Filtro + sin fin + roto válvula	7
	Sensores de monitoreo	8
3	<b>OBSERVACIONES</b>	

### **2.3.2. Cronograma y frecuencias para mantenimiento preventivo**

El uso de las fichas técnicas permite levantar la información para cada máquina. Una vez que se obtiene la información por cada máquina se procede a elaborar el cronograma de mantenimiento preventivo. Con la Tabla 12 se presenta un ejemplo el cronograma de actividades y distribución de frecuencias. En consecuencia, para asignar las frecuencias de mantenimiento a cada equipo se lo hace asumiendo tiempos razonables en función de la recomendación de cada fabricante y el análisis de falla aplicado a los equipos sin dejar de lado la experiencia adquirida en la operación de los equipos obtenida en campo en la rama de producción de carbonato de calcio.

### **2.3.3. Elaboración de actividades de rutinas de lubricación.**

Para poder garantizar y priorizar el bienestar de la planta y de los activos es necesario determinar la frecuencia de lubricación para los equipos, debido a la naturaleza de funcionamiento de planta que es la producción de material particulado es decir polvo de muy bajo tamaño que es de 1 micra hasta 120 micras, es necesario lubricar todos los equipos de forma constante ya que el polvo el mención es altamente invasivo en los componentes mecánicos de movimiento, esto ayudará a mantener equipos en los parámetros aceptables de temperatura principalmente a planta de producción. Sin lugar a duda, determinar la frecuencia de lubricación contribuye de manera directa a aumentar la confiabilidad de la planta y disponibilidad operativa.

### **2.3.4. Actividades de rutinas de revision y limpieza de equipos**

Así como es importante definir las rutinas de lubricación de equipo por la razón antes mencionada de igual forma es importante realizar la programación de rutinas de limpieza y revisión de equipos para identificar anomalías o desgaste en partes y piezas por la presencia de polvo en los equipos o por la presencia de cuerpos extraños metálicos en la materia prima que ocasionaría daños internos y golpes dentro de los equipos de molienda, situación que no es ajena en el proceso de producción en la tabla 13 se muestra un ejemplo de programación del cronograma de frecuencias de lubricación.

Tabla 13. Cronograma y frecuencias de lubricación de equipos. Fuente: Autor.

						AÑO 2021																									
						CRÍTICO	AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE				
Nº	CC	C00	SISTEMA	EQUIPO	CÓDIGO		32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51					
1	P	GR	Granulado	Blower	P-GR-BL-01	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A		A					
2	E	EM	Empacado	Silo	E-EM-S3-03	B										B															
3	P	GR	Granulado	Criba giratoria	P-GR-CR-01	M		M			M				M			M			M			M							
4	P	GR	Granulado	Elevador cangilones	P-GR-EC-01	M	M			M				M				M			M			M							
5	P	MM	My Mill	Hammer Mill	P-MM-HM-01	A	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A						
6	P	MM	My Mill	My Mill	P-MM-MM1-01	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A		A					
7	P	MM1	Mymill	Sin fin alimentador	P-MM1-SF-01	M																									
8	P	RM	Roller Mill	Roller Mill	P-RM-RM-01	A	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A						
9	P	TT	Tratado	Acido esteárico	P-TT-DO-01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A					
10	P	TT	Tratado	Calentador de aire	P-TT-CA-01	M		M			M				M				M				M								
11	P	TT	Tratado	Ciclón	P-TT-CT-01	M			M			M				M				M				M							
12	P	TT	Tratado	Coriolis	P-TT-CO-01	M				M			M				M				M				M						
13	P	TT	Tratado	Roto válvula	P-TT-RV-01	M		M			M				M				M				M								
14	P	TT	Tratado	Ventilador	P-TT-VP-01	M			M			M				M				M				M							
15	T	TR	Trituración	Trituradora de impacto	T-TR-IC-01	A	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A						
16	T	TR	Trituración	Tolva	T-TR-TP-01	B					B																				

### **2.3.5. Elaboración de plan de actividades de mantenimiento preventivo.**

Para la elaboración del plan de mantenimiento que es objetivo principal de la investigación, es importante contar con toda la información técnica disponible para definir las actividades específicas para cada equipo. Con la Tabla 14 se presenta un ejemplo de las actividades de mantenimiento preventivo específico de los equipos categoría A es decir de mayor importancia en el proceso, para ejemplificar la definición de actividades y frecuencias en función a las horas de trabajo acumuladas de los equipos a lo largo del tiempo de producción.

Todos los cronogramas descritos se realizan con el apoyo tecnológico del GMAO que como se referencia anteriormente es una herramienta muy útil ya que en el caso de las rutinas de lubricación y revisión de equipos permite visualizar y filtrar las actividades por semana, es decir que es posible entregar una programación semanal a los técnicos para su ejecución todo esto mediante el uso de un archivo con hojas de cálculo, en el caso del plan de mantenimiento preventivo se lo realiza con una versión mejorada del archivo en mención que aparte de asignar las frecuencias de las actividades genera las ordenes de trabajo (ver Anexo 2) con las actividades puntuales requeridas para cada equipo. Con la programación de las rutinas de mantenimientos preventivos se planea la intervención de los equipos aun si se encuentran en las mejores condiciones.

### **2.3.6. Importancia de uso de herramientas para monitoreo.**

Las diferentes máquinas que forman parte de un proceso productivo, con la tecnología actual, pueden describir patrones operacionales a través de la recolección de información con sensores. Estos sensores permitirán almacenar información de fenómenos físicos que puedan experimentar las máquinas anexas a la planta de producción. Los fenómenos físicos pueden ser vibración, temperatura, velocidad y ruido. La importancia de poder recolectar datos de la operación de las máquinas radica en que, se puede conocer hora y fecha exacta y, sin lugar a duda, la información contribuye para poder ejecutar procesos de planificación de mantenimiento preventivo y/o correctivo. Finalmente, el uso de herramientas tecnológicas contribuye de manera significativa para poder predecir con mayor precisión una avería o posible salida de operación de un equipo antes de que, desde el departamento administrativo de mantenimiento, se van obligados a detener la producción.



			de bandas de transmisión (*)				de bandas de transmisión (*)				
3	Roller Mill 1	P-RM-RM-01	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de molino</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Análisis de aceite hidráulico (+)(-)</li> <li>&gt;Revisión de clasificador</li> <li>&gt;Medición de desgastes (*)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de molino</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Análisis de aceite hidráulico (+)(-)</li> <li>&gt;Revisión de clasificador</li> <li>&gt;Medición de desgastes (*)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Limpieza de mangas de filtro de aire</li> <li>&gt;Revisión y limpieza de sensores de proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Análisis de aceite hidráulico (+)(-)</li> <li>&gt;Revisión de clasificador</li> <li>&gt;Medición de desgastes (*)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de molino (*)</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Análisis de aceite hidráulico (+)(-)</li> <li>&gt;Revisión de clasificador</li> <li>&gt;Medición de desgastes(*)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Si hay exceso de sedimentos realizar cambio de componentes de cajas reductoras</li> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> <li>(*) Si sobrepasa límite de tolerancia cambiar</li> </ul>
4	Sin fin alimentador MyMill	P-RM-SF-01			<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Cambio de rodamientos</li> <li>&gt;Revisión de estado de hélices</li> <li>&gt;Revisión de estado de motorreductor con análisis de aceite (-)</li> <li>&gt;Inspección de ajustes de estructura</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Cambio de rodamientos</li> <li>&gt;Revisión de estado de hélices</li> <li>&gt;Revisión de estado de motorreductor con análisis de aceite (-)</li> <li>&gt;Inspección de ajustes de estructura</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Si hay exceso de sedimentos realizar cambio</li> </ul>		

5	Trituradora de impacto	T-TR-IC-01	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de trituradora</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de trituradora</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> <li>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</li> <li>&gt;Cambio de aceite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de trituradora</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro)</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Inspección interna de trituradora</li> <li>&gt;Medición de desgaste (*)</li> <li>&gt; Análisis de aceite hidráulico (+)(-)</li> <li>&gt;&gt;Revisión de estado de motores con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> <li>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</li> <li>&gt;Cambio de aceite</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> <li>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite y filtro separador</li> <li>&gt;Cambio de aceite</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Si hay exceso de sedimentos realizar cambio de componentes de cajas reductoras</li> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> <li>(*) Si sobrepasa límite de tolerancia cambiar</li> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> </ul>
6	Blower granulado	P-GR-BL-01	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</li> <li>&gt;Cambio de aceite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> <li>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite y filtro separador</li> <li>&gt;Cambio de aceite</li> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> <li>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</li> </ul>
7	Compresor 100HP	S-SG-CM-01	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores con análisis de vibración (+)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</li> <li>&gt;Inspección de estado de motor con análisis de vibración (+)</li> <li>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</li> </ul>	



8	Blower MM 1 y 2	P-MM-BL-01	<p>Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</p>	<p>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Cambio de aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</p>	<p>Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</p>	<p>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Cambio de aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</p> <p>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</p> <p>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</p>	<p>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</p>
9	Blower RM	P-RM-BL-03	<p>Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</p>	<p>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Cambio de aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</p>	<p>Cambio de filtro de aire y aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas</p>	<p>&gt;Cambio de aceite</p> <p>&gt;Revisión de ajustes de pernos internos</p> <p>&gt;Inspección de estado de motor y bandas con análisis de vibración (+)</p> <p>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos</p> <p>&gt;Cambio de filtro de aire y aceite</p>	<p>(+) Trabajo realizado por proveedor del servicio</p>
10	Dosificador ácido esteárico	P-TT-DO-01	<p>&gt;Limpieza interna de sistema de transmisión y lubricación</p>	<p>&gt;Limpieza interna de sistema de transmisión y lubricación</p> <p>&gt;Inspección de estado de sin fin</p>	<p>&gt;Limpieza interna de sistema de transmisión y lubricación</p>	<p>&gt;Limpieza interna de sistema de transmisión y lubricación</p> <p>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos y electrónicos</p>	
11	Molino de tratado	P-TT-MT-01	<p>&gt;Limpieza interna de martillos y lubricación de rodamientos</p> <p>&gt;Limpieza de tuberías</p>	<p>&gt;Limpieza interna de martillos y lubricación de rodamientos</p> <p>&gt;Medición de desgastes de cuerpos de martillos (*)</p>	<p>&gt;Limpieza interna de martillos y lubricación de rodamientos</p> <p>&gt;Limpieza de tuberías</p>	<p>&gt;Limpieza y ajuste de tableros eléctricos y electrónicos</p> <p>&gt;Medición de desgastes de martillos (*)</p>	<p>(*) Si sobrepasa límite de tolerancia cambiar</p>

12	Hammer Mill	P-MM-HM-01	>Inspección interna de trituradora >Medición de desgaste (*) >Revisión de ajustes de pernos internos >Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro) >Inspección de estado de motores	>Inspección interna de trituradora >Medición de desgaste (*) >Revisión de ajustes de pernos internos >Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro) >Inspección de estado de motores	>Inspección interna de trituradora >Medición de desgaste (*) >Revisión de ajustes de pernos internos >Revisión de unidad de lubricación (limpieza de filtro) >Inspección de estado de motores	>Inspección interna de trituradora >Medición de desgaste (*) > Análisis de aceite hidráulico (+)(-) >>Revisión de estado de motores con análisis de vibración (+) >Limpieza y ajuste de tableros eléctricos	(-) Si hay exceso de sedimentos realizar cambio de componentes de cajas reductoras (+) Trabajo realizado por proveedor del servicio (*) Si sobrepasa límite de tolerancia cambiar
----	-------------	------------	---	---	---	---	---

## **2.4. Documentación del departamento de mantenimiento**

La gestión del desempeño del personal de mantenimiento respecto de las actividades a realizar en los turnos de trabajo es importante definir actividades y procedimientos generales de mantenimiento. Para establecer el plan de mantenimiento es necesario apoyarse en SIG para que las actividades cumplan con lo establecido en las normas ISO 9001, 14001 y 4500 de modo que se mantenga la organización de los procesos y actividades internas. La documentación necesaria para que el departamento de mantenimiento lleve a cabo sus labores y guíe su funcionamiento operativo son:

- Caracterización de Proceso
- Procedimiento de Mantenimiento
- Instructivo de Mantenimiento
- Profesiogramas del departamento de mantenimiento

Todos estos documentos de apoyo poseen información valiosa para el desempeño de las funciones del departamento y de la organización en general.

Los documentos complementarios a los anteriores y necesarios para que la operación del departamento de mantenimiento sea exitosa es:

- Procedimiento de Bloqueo de Equipos o Lock Out, Tag Out, Try Out (LOTOTO). Ver Anexo 3 y 4.
- Hojas de análisis de riesgos (JSA) de las actividades no rutinarias de mayor riesgo.
- Plan de lubricación
- Plan de mantenimiento preventivo
- WBI, del inglés *Walk by Inspection*
- Listado de repuestos críticos
- Ficha técnica de equipos

## 2.5. Categorización de equipos

Para que las técnicas de mantenimiento puedan ser aplicadas en la planta es necesario categorizar los equipos según su importancia en el proceso productivo y su impacto en la línea de producción, en el caso de, presentarse una falla. Los costos asociados a procesos de mantenimiento se justifican a medida que los objetivos de producción de la empresa son cubiertos. Es decir, el departamento de mantenimiento representa un apoyo fundamental para la empresa en el cumplimiento de objetivos comerciales y con ello garantizar la actividad comercial y la permanencia en el mercado. Es decir, el departamento de mantenimiento pertenece a una organización jerárquica donde su objetivo fundamental es cubrir con las necesidades de producción en beneficio de las partes interesadas.

A continuación, se presenta un método para identificar los equipos de manera sencilla con la finalidad de categorizar en grupos:

- Equipos de criticidad alta (A). - Aquellos que pueden parar la producción y deben ser intervenidos inmediatamente.
- Equipos de criticidad media (M). - Aquellos que podrían detener una sección del proceso productivo y se puede aplazar el tiempo de intervención.
- Equipos de criticidad baja (B). – Aquellos que no impactan directamente en el proceso productivo y pueden ser intervenidos de forma no inmediata.

A continuación, se presenta la categorización de los equipos divididos en 4 grupos: servicios generales, trituración, micronización y empaçado o empaçado. Con la Tabla 15 se presenta la forma con la que se etiqueta las máquinas anexas a la planta de producción de carbonato de calcio. En ella se puede apreciar 4 subgrupos para construir la nomenclatura de los elementos. Estos subgrupos se dividen en área, línea de producción, nombre y secuencial. A manera ilustrativa tomamos el ejemplo de la Tabla 15 con nomenclatura T-TR-IC-01 que hace referencia a la máquina ubicada en el área de trituración específicamente a la trituradora llamada *Impact Crusher* con secuencia 01. La secuencia hace referencia al hecho de que existan varias máquinas de la misma naturaleza.

Tabla 15. Nomenclatura usada para la categorización de equipos. Fuente: Autor.

Área	Línea de producción	Nombre	Secuencial
<b>T</b>	<b>TR</b>	<b>IC</b>	<b>01</b>
E = Empacado	EM = Empacado	BL = Blower	01
P = Proceso	GR = Granulado	CA = Calentador de aire	02
S = Servicios			
Generales	MM = <i>My Mill</i>	CM = Compresor 100hp	03
T = Trituración	MM1 = Mymill 1	CO = Coriolis	.
	MM2 = Mymill 2	CR = Criba giratoria	.
	RM = Roller Mill	CT = Ciclón Tratado	.
	SG = Servicios Generales	DO = Dosificador acido esteárico	
	TR = Trituración	EC = Elevador cangilones	
	TT = Tratado	FL = Filtro	
		HM = Hammer Mill	
		IC = Impact Crusher	
		MM1 = <i>My Mill</i> 1	
		MM2 = <i>My Mill</i> 2	
		MT = Molino tratado	
		RM = Roller Mill	
		RV = Roto válvula	
		S1 = Silo 1	
		S2 = Silo 2	
		S3 = Silo 3	
		S4 = Silo 4	
		SA = Silo piedra A	
		SB = Silo piedra B	
		SF = Sin fin	
		SI = Silo Tratado	
		SL = Silo <i>My Mill</i>	
		TA = Tolva alimentación	
		TP = Tolva Piedra	
		VP = Ventilador principal	

## **2.6. Resumen del capítulo**

La información presentada en el capítulo 2 muestra la propuesta de estructura del departamento de mantenimiento mediante la elaboración de la distribución de personal en función de los horarios de trabajo de planta planificados y la cantidad de técnicos requeridos para esta labor. Muestra también la parte fundamental de la investigación que es la construcción del plan maestro de mantenimiento, mediante la categorización de los equipos, el establecimiento de frecuencias y actividades de revisión, rutinas de lubricación, actividades específicas a realizar en los mantenimientos preventivos según las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, con el complemento de la experticia previa de trabajo con equipos de producción del giro de negocio de la empresa y finalmente la documentación necesaria para realizar la gestión de mantenimiento mediante el levantamiento de información para construir la hojas de cálculo para planificación de las diversas actividades.

## CAPÍTULO 3: RESULTADOS

### 3.1 Elaboración del Plan de mantenimiento preventivo

En el presente capítulo se expone la documentación requerida para implementar la propuesta de gestión del plan de mantenimiento general de planta. Para alcanzar el presente objetivo es necesario la creación de la base de datos de los equipos, al igual que, definir actividades programadas para su ejecución. La información de cada equipo es extraída de la documentación proporcionada por los fabricantes. Además, se define las frecuencias de intervención de mantenimiento teniendo en cuenta las técnicas modernas, es decir, la aplicación según corresponda de TPM, RCM y FMEA.

Para realizar el plan de mantenimiento que garantice el funcionamiento de los equipos de planta se debe considerar aspectos informativos actualizados acerca del estado de los equipos. Esto ayudará a la planificación detallada de intervención en las máquinas de la cadena de producción. Es decir, con esta información disponible se ajustarán las frecuencias de revisión o se planteará una revisión emergente de ser el caso. Por otro lado, RCM permite elaborar metodologías para el desarrollo e implementación de técnicas de mantenimiento como es el levantamiento del análisis de modo de falla y efectos FMEA ya que todos los sistemas de un proceso de fabricación se deterioran con el tiempo. Esto puede ocasionar altos costos de operación y reducción en la eficiencia del proceso industrial. Además, las fallas están sujetas a problemas estocásticos, por lo que, disponer de FMEA de los equipos más importantes ayudará a reducir la incidencia de fallos y tener un plan de acción disponible para mitigar el efecto de las fallas cuando estas se presenten en los equipos de la cadena de producción. En consecuencia, FMEA es de una utilidad para aplicar procesos de planificación de mantenimiento preventivo.

El análisis de modo de falla, como se presenta en la Tabla 16, establece la prioridad de los modos de falla y, se procede a ejecutar acciones preventivas, correctivas o de mejora. Además, con la Tabla 16 se puede apreciar información relevante relacionada con el proceso, las fallas, las causas y los controles para la detección con lo cual AMEF contribuye de manera significativa para establecer las frecuencias de falla. Finalmente, como resultado de un estudio de FMEA debe establecer acciones recomendadas por fallas, asignar responsables por acción, relacionando la fecha de ejecución, establecer una fecha de revisión, registrar las acciones ejecutadas hasta la fecha de revisión y calcular nuevamente el (RPN, del inglés *Risk Priority Number*).

Tabla 16. Aplicación de análisis nodal de fallas (FMEA). Fuente: Autor.

**ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS**

AMFE DE PROYECTO:		AMFE DE PROCESO:		Denominación del componente/ Parte del Proceso		Código de identificación del componente		Hoja:									
Producción		Trituración		Trituradora de martillos		HC1 (1)		1 de 1									
FECHA DE INICIO:	11/5/2020	NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:		COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)		EQUIPO/MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN		Departamento:									
FECHA REVISIÓN:		Diego Flores		Mantenimiento		Trituradora de martillos y sistema de alimentación y salida de producto		Producción/Trituración									
OPERACIÓN O FUNCION	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE/PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORADA						
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS		F	G	D	RPN	ACCIONES IMPLANTADAS	F	G	D	RPN	Repuestos	
Producción / Molienda	1.1	Desgaste prematuro de martillos	Ruptura de martillos / accidente de trituradora	Defecto de fundición	inspección de proceso de fundición (proveedor)	2	4	2	16	Mantener stock constante de martillos (2 und)	NA	Mantener stock	1	2	1	2	Martillos
				Mala elección de material de fundición		2	4	2	16	inspección periódica de estado de martillos	NA	WBI	1	2	1	2	
	1.2	Ruptura de martillos	Accidente de trituradora	Defecto de fabricación	inspección de estado de martillos	2	4	2	16	inspección periódica de estado de martillos	NA	Mtto preventivo	1	2	1	2	
						Defecto de fundición	2	2	2	8	Mantener stock constante de placas)	NA	Mantener stock	1	1	1	1
	1.3	Desgaste prematuro de placas internas	Ruptura de placas / accidente de trituradora	Mala elección de material de fundición	inspección de proceso de fundición (proveedor)	2	2	2	8	inspección periódica de estado de placas	NA	WBI	1	1	1	1	
						Daño sistema de arranque de motor	inspección de tablero	2	2	1	4	WBI/ rutinas de mtto	NA	WBI	1	1	1
	1.4	Daño en sistema de transmisión (motor, bandas y poleas)	Paro de producción	Daño de motor	inspección de motor	2	2	1	4		NA	WBI	1	1	1	1	Motor
				Ruptura de bandas	Inspección de bandas	2	2	1	4		NA	WBI	1	1	1	1	Bandas de transmisión





El RPN es un número entre 1 y 1000 que muestra la prioridad que se le debe dar a cada falla para poder atenderla de manera preventiva y eliminar cada falla. Cuando el RPN es superior a 100 es un claro indicador de que deben implementarse acciones de prevención o corrección para evitar la ocurrencia de las fallas, de forma prioritaria.

Dentro de los aspectos importantes a considerar para elaborar el plan de mantenimiento están las técnicas modernas de monitoreo tecnológico, esto es posible con la ayuda de sistemas SCADA. Estos sistemas son instalados en el proceso productivo, donde, se dispone de información, en tiempo real, del desempeño de los equipos basado en el monitoreo constante de variables físicas propias del proceso productivo como son: vibración, temperatura, y presión. El establecimiento de las frecuencias de intervención y el plan en general consideran también revisiones predictivas con la finalidad de lograr hacer una revisión completa de los equipos para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y garantizar extender, en el tiempo, la vida útil de los equipos.

El plan de mantenimiento preventivo se soporta en archivos digitales (GMAO), donde, se genera las frecuencias de mantenimiento en función de aspectos teóricos de técnicas administrativas mantecnológicas contemporáneas. El uso de estas herramientas se puede complementar con la experticia adquirida (datos históricos) y con la guía del departamento de ingeniería y mantenimiento. Además, con la herramienta digital de apoyo se generan las frecuencias semanales y se generan las ordenes de trabajo con las actividades específicas de manteamiento preventivo y predictivo correspondiente. En las órdenes de trabajo se detallan las actividades específicas para proceder con el mantenimiento de los equipos (ver Anexo 5).

La planificación general se consigue con el manejo adecuado y asertivo del archivo de procesos, el cual, es una guía que busca garantizar procesos adecuados de mantenimiento y procedimientos de seguridad para precautelar la vida humana. Sin embargo, es tan solo es una herramienta para lograr tener una correcta y oportuna intervención y, para lograr que, esta sea realmente efectiva se debe complementar con la discusión, análisis y ejecución del seguimiento personalizado de las partes interesadas de la siguiente forma:

- Elaborar el plan de mantenimiento (frecuencias y actividades)
- Socializar el plan con la gerencia de planta para su aprobación y la asignación de recursos necesarios.

- Afinar la planificación mediante reuniones semanales donde se revise la ejecución de la planificación anterior y las necesidades actuales que se presentan de la ejecución de las caminatas de inspección TPM. Se debe solicitar la disponibilidad de los equipos para ejecutar las ordenes de trabajo al departamento de producción. Esta reunión deberá llevarse a cabo con la presencia de la gerencia de planta, la jefatura de producción y la jefatura de mantenimiento.
- Reprogramar la intervención de los equipos de ser necesario.
- Revisar e imprimir las ordenes de trabajo a ejecutarse en la semana próxima.
- Realizar un reporte de análisis de causa raíz de las novedades encontradas en los mantenimientos preventivos para con ayuda del RCM seguir los siguientes pasos y hacer una evaluación y migración de los posibles fallos futuros de los equipos.
- Archivar y revisar la ejecución de las ordenes de trabajo.
- Reportar novedades importantes y alimentar información el archivo para visualización de los indicadores de gestión.

El proceso de análisis de fallos del RCM y AMFE, para la toma de decisiones, el cual comprende un proceso donde se sugiere establecer una serie de acciones preventivas y correctivas, donde se consideran 9 pasos.

Paso 1: Definición del objetivo del RCM. Determinación de indicadores, y valoración de estos antes de iniciar el proceso.

Paso 2: Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta mediante la recopilación esquemas, diagramas funcionales, y diagramas lógicos.

Paso 3: Estudio detallado del funcionamiento del sistema y de las especificaciones con un listado de funciones primarias y secundarias.

Paso 4: Determinación de los modos fallos funcionales y fallos técnicos Levantamiento de AMFE (Análisis de modos de falla y efectos).

Paso 5: Estudio de los modos de fallo para su clasificación según su criticidad y funcionalidad.

Paso 6: Determinación de planes de acción preventivos que prevean los fallos.

Paso 7: Elaboración o reprogramación del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y acciones preventivas a tomar en caso de fallo.

Paso 8: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

Paso 9: Evaluación de las acciones, mediante la valoración de los indicadores de gestión.

En promedio, el tiempo de intervención semanal de los equipos es de 28 horas las cuales se ejecutarán durante el tiempo de producción normal y, por ende, necesita la coordinación con la jefatura de producción para ejecutar la orden de trabajo. Las órdenes de trabajo las ejecutan los técnicos de mantenimiento con los lineamientos e instrucciones específicas para cada equipo. Con la Figura 12 se presenta el organigrama que se sigue para el mantenimiento preventivo.

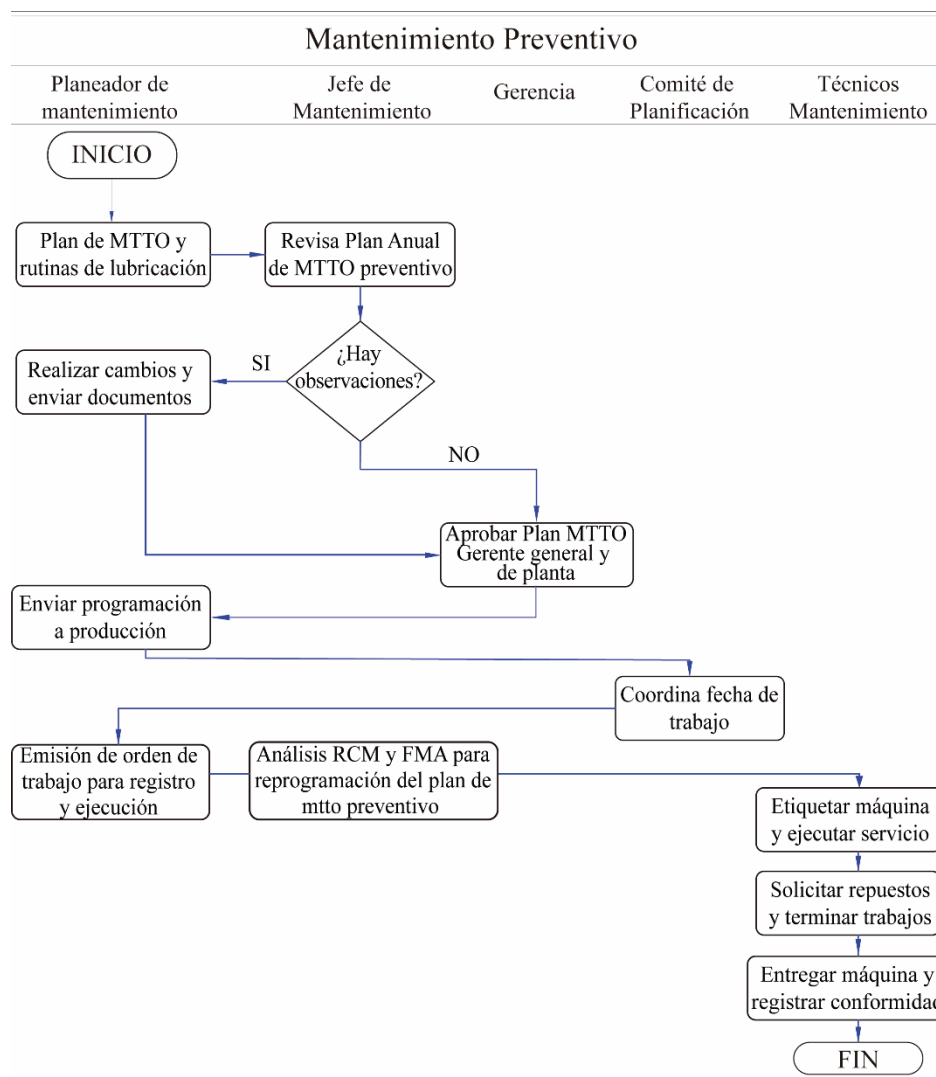


Figura 12. Diagrama de Flujo de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Autor.

### **3.2 Información documentada**

En el levantamiento de la información, que se detalla a continuación, se presenta el tipo, cantidad y la función de cada equipo donde se identifican 4 áreas operativas que son trituración, proceso, empaque y servicios generales.

Cada área está equipada con los elementos necesarios para la transformación de materia prima en producto final, estas áreas son: sistema de detección y prevención de incendios, sistema de distribución eléctrica, sistema de aire comprimido, sistema de riego y finalmente sistema de iluminación interior como exterior. La base datos identifica con un total de 46 equipos distribuidos en las distintas áreas. Existe una sección adicional muy importante que es la de servicios auxiliares donde se contemplan los equipos de soporte para que las áreas productivas y administrativas realicen su trabajo observando criterios de óptimo desempeño y eficacia en los procesos de producción.

### **3.3 Bloqueo de Equipos ó Lock Out, Tag Out, Try Out (LOTOTO).**

La empresa de producción forma parte de la multinacional líder en producción de  $CaCO_3$  a nivel mundial. En consecuencia, la seguridad industrial es uno de los pilares organizacionales de mayor importancia en la operación de todas las líneas de producción de la planta. Por lo tanto, para poder reunir información importante del equipo y levantar información de interés para fines de mantenimiento, resulta fundamental realizar procesos de bloqueos de los equipos. Este paso es importante para garantizar evitar cualquier tipo de accidentes.

El procedimiento de bloqueo establece los pasos que se debe seguir antes, durante y después del levantamiento de la información, además, se establece los requisitos para realizar la intervención.

De forma general el procedimiento establece los siguientes pasos a seguir después de ser reportada o identificada alguna novedad en la operación de los equipos.

Los pasos seguir, previo al trabajo, son:

- Comunicar implicados en la intervención
- Comprobar el procedimiento de bloqueo y etiquetado
- Parar máquinas y aislar energía peligrosa
- Bloquear la energía peligrosa y disipar energía residual
- Prueba para religar equipos

Los pasos seguir posterior al trabajo son:

- Inspeccionar Equipos y comprobar área de trabajo
- Comprobar los controles operativos
- Quitar bloqueos
- Comunicar implicados en la terminación del trabajo

El procedimiento de bloqueo se realizará de acuerdo con la hoja de bloqueo que se especifica creada para cada equipo a en las Figuras 8 y 9.

### 3.4 Hojas de análisis de riesgos (JSA) de actividades no rutinarias de mayor riesgo.

En operación industrial existen diversas actividades de alto riesgo. JSA ayudará a mitigar estos riesgos y evitar lesiones a personas. Las hojas de análisis de riesgo ayudan a identificar los posibles riesgos asociados a una actividad no rutinaria para evitar que los operadores sufran incidentes por falta de prevención del riesgo. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de JSA y se evalúa los riesgos para la categorización de estos.

### 3.5 Plan de lubricación

El plan de lubricación indica las frecuencias y las fechas en las que se realiza la revisión y lubricación de los componentes mecánicos. Esta información se la obtiene del archivo de programación de frecuencias desarrollado en hojas de cálculo. Con la Tabla 17 se presenta la programación de las frecuencias semanales.

Tabla 17. Cronograma para lubricación de equipos. Fuente: Autor.

CENTRO DE MANTENIMIENTO						Semana 26	28/12/2020	4/1/2021
Ordenes DE TRABAJO: 30						30	0	15
Área	TAG	Descripción del equipo	Día de la semana	Tipo de trabajo	Condición del sistema	Duración (h)	Frecuencia (W)	Inicio W
Proceso	P-TT-RV-01	Roto válvula alimentación tratado	Lunes	Especificado en la inspección	Detenido	1	4	2
Trituración	T-TR-TP-01	Tolva piedra	Miércoles	Especificado en la inspección	Detenido	1	4	6

Para programar las frecuencias de lubricación se verifica el listado de equipos, número de horas requeridas para la actividad, número de personas, semana de inicio de la rutina y frecuencia de repetición de la rutina, el detalle de la cantidad y tipo de grasa se establece con la información proporcionada por el fabricante como se muestra en la Tabla 18. El plan de lubricación lo realiza el personal de mantenimiento designado para la actividad semanal programada.

En promedio el tiempo de intervención de equipos para lubricación semanal es de 18 horas, las cuales, se ejecutarán durante el tiempo de producción normal. Es importante mencionar, en base a experiencias dentro de la planta, que la lubricación de las máquinas y equipos tienen una programación especial a la cual se ha asignado una frecuencia semanal y pertenece al departamento de operación. Esto es posible, dado que, la mayoría de los equipos no requiere ser parado para realizar la lubricación. En los equipos que requieran ser parados se coordinará con la jefatura de producción para intervención de los equipos.

Tabla 18. Definición de tipo y cantidad de lubricante. Fuente: Autor.

Área	TAG	Nombre del Equipo	Componente lubricante	Tipo de lubricante	Cantidad aplicada	Puntos de lubricación
Proceso	P-TT-RV-01	Roto válvula alimentación tratado	grasa	Mobilux 2	20 g	3 puntos
Trituración	T-TR-TP-01	Tolva piedra	grasa	Mobilux 3	10 - 20 g	4 puntos

Esta es una actividad complementaria al plan de mantenimiento preventivo, ya que, la lubricación de quipos es una actividad fundamental en la operación de los equipos. Resulta importante la lubricación de equipos dada su naturaleza por el trabajo realizado en la producción de carbonato de calcio, debido a que este es un sólido presentado en forma de material particulados de muy bajo tamaño (polvo) es invasivo y genera problemas de abrasión y desgaste en los lugares donde no hay la adecuado limpieza y lubricación de los componentes móviles.

### 3.6 Plan de revisión y limpieza de equipos

El plan de revisión y limpieza de equipos indica las frecuencias y las fechas en las que se realiza la revisión de los componentes mecánicos. Esta información se la obtiene

del archivo de programación de frecuencias desarrollado en hojas de cálculo. Con la Tabla 19 se presenta la programación de las frecuencias semanales.

Tabla 19. Cronograma para inspección de equipos. Fuente: Autor.

CENTRO DE MANTENIMIENTO						Semana 26	28/12/2020	4/1/2021
Ordenes DE TRABAJO: 30						30	0	15
Área	TAG	Descripción del equipo	Día de la semana	Tipo de trabajo	Condición del sistema	Duración (h)	Frecuencia (W)	Inicio W
Proceso	P-TT-RV-01	Roto válvula alimentación tratado	Lunes	Revisión y limpieza	Detenido	1	4	2
Trituración	T-TR-TP-01	Tolva piedra	Miércoles	Revisión y limpieza	Detenido	1	4	6

### 3.7 Walk By Inspection (WBI)

El mantenimiento productivo total considera, que el mantenimiento autónomo, es una actividad muy importante para mantener los equipos operativos dentro de la organización. Esta actividad está definida por procedimientos internos ejecutados por los operadores de producción, además, se lleva el registro para planificar la intervención oportuna de equipos.

WBI es un procedimiento interno implementado por la dirección de operación de la multinacional como parte de las actividades del área de mantenimiento. Se estructura como una herramienta de prevención de daños de equipos y su objetivo primordial es identificar las fallas de los equipos antes de que estas sean críticas y detengan la producción.

Como antecedente, la multinacional propone que el mantenimiento este a cargo por técnicos del departamento de mantenimiento. En la nueva visión de gestión de mantenimiento, que se propone en el presente estudio, se propone llevar a cabo las WBI a cargo de los operadores de las diferentes líneas de producción. Además, serán los encargados de hacer las rutas de inspección de los equipos durante la operación con la finalidad de identificar situaciones anormales en los equipos. Estas situaciones anormales pueden ser temperaturas altas, sonidos extraños, olores característicos, vibraciones excesivas, daños estructurales entre otros. Estas anomalías deben ser registradas en las hojas de ruta para notificar de la novedad y, seguido, se genere una solicitud de mantenimiento para la revisión y/o arreglo del equipo reportado. Cuando se genera una solicitud de mantenimiento se procede con caminatas por la planta y las



realizan los operadores de producción durante los respectivos turnos. Se propone 8 rutas para cubrir todas las áreas de la planta. Esta actividad es coordinada con los operadores líderes de cada área o línea de producción. Con la Tabla 20 se presenta el mapa de ruta de inspección para procesos de mantenimientos preventivos y predictivos organizado por el departamento técnico de mantenimiento.

Tabla 20. Mapa de ruta WBI de inspección para procesos de mantenimiento. Fuente: Autor.

<b>Registro de caminantes de Inspección</b>						
Tipo de documento: Récord						
Referencia: S13.01_ES_MTTO_CDI						
Revisión:						
1				ID:	1723209142	
Fecha de aplicación: 01.01.2021				Sitio:	Producción	
Rutas de Inspección 2021 (WBI)				Semana:		
				Fecha:		
Elab: Diego Flores						
TRITURACIÓN						
RUTA	N	TAG	Equipo	Actividades / Inspecciones	Estado	Observaciones
<b>1</b>	1	P-TT-TA-01	Tolva de alimentación	Verificar el estado de la estructura de alimentación Verificar el estado de las cortinas Inspección de la condición de la tolva: grietas, deformaciones, piedras atascadas		
	2	P-TT-VP-01	Ventilador principal de tratado	Verificar magnitudes de corriente Verificar vibraciones Verificar conexiones eléctricas		

Con la Tabla 21 se presenta el mapa de ruta para la programación de procesos de mantenimiento. Una vez identificadas las actividades asociadas para el mantenimiento de cada máquina es de mucha importancia definir el mapa de ruta para organizar las respectivas actividades. Esta planificación contribuye a asignar personal requerido para ejecutar las actividades de mantenimiento según un orden establecido.

Tabla 21. Programación de rutas de mantenimiento. Fuente: Autor.

<b>Rutas</b>	<b>Zona</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha de ruta</b>
1	Proceso	Palero 1T	Miércoles
2	Empacado	Operador 1T	Lunes
3	Trituración	Operador 2T	Lunes
4	Transformador/Compresores	Jefe de producción	Jueves

### **3.8 Listado de repuestos críticos**

Para proceder de manera efectiva en la gestión de mantenimiento se propone levantar el listado de equipos y repuestos críticos, ya que, de esto depende el garantizar la disponibilidad y operatividad de la planta.

El listado de equipos, con sus repuestos críticos, permite identificar los repuestos relevantes para garantizar la continua operación de los equipos. En consecuencia, el listado de equipos es una herramienta de control tanto para mantenimiento como para bodega y contribuye al manejo y control de inventario.

La definición de repuestos críticos debe ser consensuada entre la gerencia general, la gerencia administrativa, la gerencia de planta y la jefatura de mantenimiento, ya que, el abastecimiento de las partes y piezas debe considerar algunos aspectos como: presupuesto anual, la disponibilidad y tiempos de entrega del mercado local y en caso de que el mercado local no lo tenga revisar en los mercados de países vecinos como Colombia. Por otro lado, si no existiera la oportunidad de adquirir repuestos, de los dos modos mencionados en el párrafo anterior, hay que acudir a mercados internacionales.

La coordinación de la adquisición de repuestos críticos debe contemplar que la operación de planta no puede parar. En consecuencia, los repuestos de los equipos críticos deben estar disponibles en bodega o deben tener planificación previa en función de la periodicidad de las intervenciones con la finalidad de prever la compra para ejecuciones de orden de trabajo.

### **3.9 Indicadores de gestión**

Los indicadores de gestión muestran la disponibilidad de quipos y el tiempo de paradas y tiempo de arreglo de los equipos, debido a que los indicadores de gestión se construyen con datos históricos en operación la visualización de los resultados será posterior al levantamiento de información y gestión de los datos.

Para dar el seguimiento adecuado a los indicadores de gestión la propuesta contempla levantar un registro de eventos donde se pueda tabular los índices y en base a ello realizar la intervención de los equipos en la planificación en los respectivos planes de mantenimiento.

### **3.10 Análisis de capacidad de mantenimiento**

El objetivo de la analizar capacidad de mantenimiento es saber si con el número de técnicos que se propone se puede cubrir las actividades tanto de las rutinas de lubricación y rutinas de inspección y limpieza como el plan de mantenimiento levantado, entonces teniendo en cuenta que son 3 técnicos trabajando 8 horas diarias durante 20 días en un periodo de 12 meses tenemos horas/hombres disponibles. Por lo tanto, el tiempo requerido para actividades de mantenimiento que un trabajador usa es el producto de los términos independientes dando como resultado 5760 horas/hombre. Finalmente, el tiempo necesario para ejecutar las rutinas de lubricación son 620 horas/hombre, el tiempo necesario para la ejecución de las rutinas de revisión y limpieza son 620 horas hombre y el tiempo requerido para la ejecución de las rutinas de mantenimiento preventivo son 1248 horas/hombre. En consecuencia, el computo del tiempo necesario para actividades de mantenimiento es 1683 horas, resultado que se obtuvo usando la ecuación (4).

De los resultados obtenidos se observa que el personal del departamento de mantenimiento no es suficiente debido a que la diferencia es de 11072 horas hombre que representan 5 personas adicionales para ejecutar todas las ordenes de trabajo, por lo que se contempla que en los trabajos de mantenimientos mayores de equipos prioritarios tipo A se realicen turnos de intervención ya sea a doble o triple jornada de ser el caso con el apoyo de personal operativo, y en caso de no cubrir la necesidad con el personal operativo se plantea la opción de contratación de proveedores de servicio para dichas actividades.

### **3.11 Resumen del capítulo**

El capítulo 3 muestra los resultados obtenidos del desarrollo de los capítulos 1 y 2 y la aplicación de conceptos teóricos para elaborar los planes de inspección, lubricación y actividades programadas de mantenimiento preventivo, con el apoyo de procedimientos de seguridad industrial y la creación de los archivos digitales para gestión de información con ordenador de las actividades, dichos archivos son el registro de las actividades planificadas y luego ejecutadas para hacer una evaluación del desempeño, y tomar los correctivos necesarios, de ser el caso realizar una reprogramación y realizar el análisis de causa raíz mediante las herramientas tecnológicas de los eventos de mayor impacto o repetibilidad dentro del proceso productivo. Y finalmente con el análisis de capacidad de cumplimiento del plan con los técnicos sugeridos concluimos que si es posible realizar el plan.

## **CAPÍTULO 4: ESTRUCTURA DE COSTO DE MANTENIMIENTO**

Los costos que involucran acciones de mantenimiento son gastos que garantizan el mantenimiento de la empresa y la vida útil de los equipos. Además, para mantener la empresa en su nivel óptimo es necesario asignar un presupuesto dedicado al mantenimiento. Para el análisis de costo, por concepto de mantenimiento, se separará en los siguientes rubros:

- Costos fijos
- Costos variables
- Costos financieros
- Costos de fallo

Los costos fijos son independientes del volumen de producción o de ventas de la empresa. Los costos fijos en el mantenimiento están compuestos principalmente por la mano de obra y los materiales necesarios para ejecutar el mantenimiento en la planta. Además, en los costos fijos se debe incluir los gastos originados por lubricación o engrase de las máquinas. Los costos variables son directamente proporcionales a la producción realizada. En acciones de mantenimiento, los costos variables, involucran la mano de obra y los materiales para el mantenimiento correctivo. Los costos financieros observan el valor de los repuestos de almacén como las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción. Además, los costos financieros prevén los costos que supone mantener máquinas duplicadas para obtener mayor disponibilidad. Finalmente, el coste de fallo se refiere a los rubros de pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento de la planta de producción. Ahora es importante conocer el valor de los equipos instalados para hacer énfasis en la importancia de la aplicación del plan de mantenimiento y la asignación de los recursos necesarios.

Con la Tabla 22 se presenta el costo directo que parte de la estructura de gastos operativos del taller. Anualmente la nómina del taller por US\$ 69.021,92 y el costo de jefe de mantenimiento constituye nómina indirecta, el resto es nomina directa del servicio (ayudantes).

Tabla 22. Detalle de nómina de mantenimiento. Fuente: Autor.

Puesto	Sueldo nominal	13er.	14to.	Vacaciones	Fondo de reserva	Aporte patronal IESS	IECE	SETEC	TOTAL, COSTO MENSUAL	TOTAL, COSTO ANUAL
Jefe de mantenimiento	\$1,800	\$150	\$33.33	\$75	\$149.94	\$200.70	\$9	\$9	\$2,426.97	\$29,123.68
Técnico eléctrico	\$600	\$50	\$33.33	\$25	\$49.98	\$66.90	\$3	\$3	\$831.21	\$9,974.56
Técnico mecánico	\$600	\$50	\$33.33	\$25	\$49.98	\$66.90	\$3	\$3	\$831.21	\$9,974.56
Técnico electrónico	\$600	\$50	\$33.33	\$25	\$49.98	\$66.90	\$3	\$3	\$831.21	\$9,974.56
Planeador de Mto	\$600	\$50	\$33.33	\$25	\$49.98	\$66.90	\$3	\$3	\$831.21	\$9,974.56
										\$2
<b>Total, Taller</b>	<b>\$4,200</b>	<b>\$350</b>	<b>\$166.67</b>	<b>\$175</b>	<b>\$349.86</b>	<b>\$468.30</b>	<b>1</b>	<b>\$21</b>	<b>\$5,751.83</b>	<b>\$69,021.92</b>

El costo de los insumos para ejecutar el mantenimiento preventivo de las máquinas de la planta de producción de carbonato de calcio, con una frecuencia mensual, se ilustra con la Tabla 23.

Tabla 23. Costo del plan de mantenimiento. Fuente: Autor.

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIOS (\$)	P. TOTAL (\$)
1	Materiales mecánicos	6	\$160.00	\$960.00
2	Materiales eléctricos	14	\$58.00	\$812.00
3	Bandas	49	\$18.00	\$882.00
4	Piñones	75	\$18.25	\$1,368.75
5	Contactores	80	\$59.96	\$4,796.80
6	Guardamotores	20	\$35.05	\$701.00
7	Sensores	10	\$48.00	\$480.00
	<b>TOTAL</b>			<b>\$10,000.55</b>

Otro componente del costo es el gasto indirecto de servicios que integra los gastos requeridos por el taller como se ilustra en la Tabla 24. En estos rubros se consideran los servicios básicos, combustibles y lubricantes y químicos para el uso en limpieza de la planta de producción.

Tabla 24. Detalles de gastos. Fuente: Autor.

	<b>VALOR</b>
<b>COSTO INDIRECTO OPERATIVO</b>	<b>MES</b>
Energía eléctrica para producción	\$2,500.00
Agua para limpieza de planta	\$230.00
Combustible y Lubricantes	\$250.00
Químicos para aseo planta	\$100.00
Nómina indirecta	\$2,426.97
Mantenimiento de Planta	\$10,000.55
<b>SUB-TOTAL MENSUAL</b>	<b>\$15,507.52</b>
<b>SUBTOTAL COSTO INDIRECTO</b>	
<b>ANUAL</b>	<b>\$186,090.28</b>
(+) Uniformes Personal Planta	\$2,784.00
<b>COSTO INDIRECTO ANUAL</b>	<b>\$188,874.28</b>

El costo de nómina indirecta se ilustra con la Tabla 25. Ambos rubros (gasto indirecto y nomina indirecta) permiten el funcionamiento normal del taller. Este gasto indirecto asciende anualmente a \$291.691,91, mismo que, aumenta de año en año un 3% por efectos de la inflación.

Tabla 25. Costo indirecto de mantenimiento. Fuente: Autor.

<b>Descripción</b>	<b>Año1</b>	<b>Año2</b>	<b>Año3</b>	<b>Año4</b>	<b>Año5</b>
<b>Costo indirecto operativo</b>	\$188,874.28	\$194,540.51	\$200,376.72	\$206,388.03	\$212,579.67
<b>Depreciación de maquinaria</b>	\$102,817.63	\$102,817.63	\$102,817.63	\$102,817.63	\$102,817.63
<b>TOTAL, COSTO INDIRECTO DE PRODUCCIÓN</b>	\$291,691.91	\$297,358.14	\$303,194.36	\$309,205.66	\$315,397.30
<b>Inflación anual</b>		3%	3%	3%	3%

El costo por servicios de mantenimiento, que constituyen la mano de obra, asciende en el primer año a \$ 331,590.15 como se muestra en la Tabla 26. Es de mucho interés, tener presente que no se aplica rubros por concepto de insumos o materia prima, por tratarse de un servicio.

Tabla 26. Detalle de costo de Mantenimiento. Fuente: Autor.

<b>Descripción</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Costo directo de servicio</b>	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
<b>Costo Mano de Obra Directa</b>	\$39,898.24	\$41,095.19	\$42,328.04	\$43,597.88	\$44,905.82
<b>Costo Indirecto de Fabricación</b>	\$291,691.91	\$297,358.14	\$303,194.36	\$309,205.66	\$315,397.30
<b>COSTO MTTO TOTAL</b>	<b>\$331,590.15</b>	<b>\$338,453.33</b>	<b>\$345,522.40</b>	<b>\$352,803.54</b>	<b>\$360,303.12</b>

#### **4.1 Resumen del capítulo**

En el presente capítulo se realizar un análisis económico de costos para la aplicación de la estructura de gestión de mantenimiento planteada, se presenta también el detalle de costos fijos, costos variables, para que la gestión del departamento sea justificada y viable en su aplicación práctica. El detalle del valor de los equipos es presentado para justificar y tener referencia del valor de los equipos y la importancia de hacer una adecuada gestión de mantenimiento.



## CONCLUSIONES

- Para lograr definir la estructura del Sistema de Gestión de Mantenimiento se identificó las necesidades de planta para mantenerla operativa y el modelo de estructura organizacional que se ajusta a los requerimientos de planta es la organización jerárquica vertical es decir con una jefatura a la cabeza del departamento que coordina las actividades de sus subordinados y con soporte del planeador de mantenimiento y los proveedores de servicios, de esta manera poder tener un seguimiento adecuado de las actividades del área y un escalamiento ordenado de problemas tanto a nivel técnico como nivel administrativo. Las mantecnologías utilizadas para este fin son el mantenimiento productivo total, el análisis de modos de fallas y efectos, el mantenimiento centrado en fiabilidad. El personal necesario para la ejecución del plan de mantenimiento es: el jefe de mantenimiento, con soporte administrativo del planeador y los 3 técnicos especialistas (eléctrico, mecánico y electrónico)
- La manera más efectiva para el caso de estudio para categorizar los equipos de producción es la división de los equipos en tres grupos debido a su importancia en el proceso es decir mediante la identificación de la criticidad en el proceso productivo con el criterio que un equipo se considera critico o prioritario si su daño ocasiona una para directa de producción y debe ser intervenida inmediatamente, un equipo de criticidad media no provoca una para directa de producción sino solamente una parte de ella y su intervención de reparación puede ser planificada y finalmente un equipo de criticidad baja no impacta de forma directa en producción que puede ser pospuesta su intervención, así tenemos a los de mayor impacto en la categoría A, los de mediano impacto en categoría M, y los de bajo impacto en la categoría B.

Y precisamente de esta categorización resulta la cuantificación de los equipos así: 12 equipos categoría A, 23 equipos categoría M, y 11 equipos categoría B. En cuanto al establecimiento de las rutas de lubricación y revisión existen tres rutas de las áreas de producción de planta que son distribuidas equitativamente con periodicidad semanal.

- La elaboración del plan maestro de mantenimiento se realizó con ayuda de la

categorización de equipos y el uso de mantecnologías como TPM, RCM, AMFE. El procesamiento de información técnica GMAO (Gestión de mantenimiento con ordenador) es una herramienta que facilita la programación de las actividades y la calendarización de actividades esto mediante el uso de una hoja de cálculo de Microsoft Excel con una macro para generación de las ordenes de trabajo la cual contine toda la información acerca de actividades y frecuencia de aplicación del plan de mantenimiento. Con el apoyo de las mantecnologías propuestas como el TPM se creó las rutas inspección, estas rutas al igual que las rutas de lubricación se definieron mediante la criticidad de los equipos y su impacto en el proceso de producción en caso de una eventual falla y se dividen en tres etapas de producción que son: Trituración, Procesos y Empacado con la creación de 2 rutas de inspección para trituración, 5 rutas de inspección de procesos y 2 rutas de inspección de empacado.

- En cuanto a la estructuración los indicadores de rendimiento KPI, (Key Performance Indicators) del departamento de mantenimiento, es necesario recopilar información de funcionamiento de los equipos durante la operación, es decir registrar al detalle todas las novedades en producción, tales como: el número de paradas, el motivo de la parada, el tiempo de para y en qué línea de producción se presentó la novedad. De esta forma con la base de datos obtenidos, contabilizar y procesar la información con las fórmulas descritas en el capítulo 1 en una hoja de cálculo de Excel y visualizar los indicadores para poder establecer planes de acción gerenciales y operativos según corresponda.
- En conclusión, el presente documento detalla la elaboración de plan de mantenimiento considerando todos los aspectos técnicos y admirativos para la viabilidad de este, el cual respaldado en la información desarrollada cumple con los requisitos necesarios para realizarlo en su totalidad haciendo uso de los recurso económicos y humanos por medio de la gestión de la gerencia general, la gerencia de planta y la jefatura de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Si bien es cierto que la gestión de mantenimiento es uno de los pilares para el funcionamiento de una empresa también es cierto que esta gestión no es independiente de los demás procesos ya que se debe llegar a un consenso para determinar la intervención de los equipos sin que esto tenga un impacto directo en las actividades productivas, se recomienda que la coordinación y planificación de estas actividades se la realice con del departamento de producción, el departamento de mantenimiento en reuniones semanales de seguimiento con la debida difusión hacia la gerencia de planta para conocimiento y aprobación.
- En el desarrollo de la información del presente documento se destaca que la gestión interna de mantenimiento es efectiva a medida que se mantiene operativa la planta de producción, esto mediante la aplicación y ejecución del plan de mantenimiento, sin embargo, en casos excepcionales, cuando no se logre cumplir el este objetivo debido a causas externas o fallos imprevistos y no se los pueda atender con recursos propios es decir el equipo interno de mantenimiento. Se sugiere solicitar con apoyo externo de proveedores locales de servicios en las distintas especialidades y ramas técnicas en el área de prevención, predicción y aprovisionamiento industrial, entre estas empresas especialistas de apoyo se tiene las siguientes:
  - Especialista en análisis de vibraciones
  - Especialistas en análisis termográfico
  - Especialista en análisis de ultrasonido y modos de falla mecánico
  - Especialista de estudios estructurales
  - Especialista en análisis de calidad de energía eléctrica
  - Especialista en tratamiento de aire acondicionado y calefacción
  - Especialistas en tratamiento de aguas residuales
  - Especialistas de desechos peligrosos
  - Especialista en automatización y control industrial
  - Especialista en tratamiento de aire comprimido
  - Empresas de soporte logístico, comparas, importaciones
  - Empresas aprovisionamelo de partes y piezas mecánicas y/o eléctricos

- La gestión y procesamiento de la información recopilada se recomienda realizarla mediante ordenador para tener la facilidad de procesamiento y generación de registros digitales, con el objetivo de tener disponible la información en todo momento y en cualquier lugar.
- La sugerencia para tomar registro de la elaboración de las rutas de inspección es que los operadores de producción realicen cada ruta semanalmente y notifiquen de las novedades para intervención y/o mejora de los equipos de ser el caso.
- La definición de las metas de los indicadores de gestión deberá ser consensuado entre la gerencia general, gerencia de planta y la jefatura de mantenimiento para establecer objetivos reales y aplicables y tomar decisiones en el proceso productivo ya sea para reorganización del área o asignación de recursos buscando que la meta sea un objetivo SMART (específica, medible, alcanzable, realista y a tiempo).

## REFERENCIAS

- [1] M. S. Mainkar and R. K. Rathod, "Maintenance Management System Effective Tool to Progress and Reach Total Productive Maintenance & Six Sigma Business Development Strategies.," *2017 Int. Conf. Ind. Eng. Manag. Sci. Appl. ICIMSA 2017*, 2017.
- [2] P. Chemweno, L. Pintelon, P. N. Muchiri, and A. Van Horenbeek, "Risk assessment methodologies in maintenance decision making: A review of dependability modelling approaches," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 173, no. January, pp. 64–77, 2018.
- [3] N. Kuboki and S. Takata, "Selecting the optimum inspection method for preventive maintenance," *Procedia CIRP*, vol. 80, pp. 512–517, 2019.
- [4] A. Syamsundar, V. N. A. Naikan, and S. Wu, "Estimating maintenance effectiveness of a repairable system under time-based preventive maintenance," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 156, no. March, p. 107278, 2021.
- [5] I. Bouchareb, A. Lebaroud, A. J. M. Cardoso, and S. Bin Lee, "Towards Advanced Diagnosis Recognition for Eccentricities Faults: Application on Induction Motor," *Proc. 2019 IEEE 12th Int. Symp. Diagnostics Electr. Mach. Power Electron. Drives, SDEMPED 2019*, pp. 271–282, 2019.
- [6] O. Motaghare, A. S. Pillai, and K. I. Ramachandran, "Predictive Maintenance Architecture," *2018 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Comput. Res. ICCIC 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [7] O. Yavuz, E. Doğan, E. Carus, and A. Görgülü, "Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 158, pp. 227–234, 2019.
- [8] V. Hernández-Chover, L. Castellet-Viciano, and F. Hernández-Sancho, "Preventive maintenance versus cost of repairs in asset management: An efficiency analysis in wastewater treatment plants," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 141, pp. 215–221, 2020.
- [9] Z. Huo, M. Mukherjee, L. Shu, Y. Chen, and Z. Zhou, "Cloud-based Data-intensive Framework towards fault diagnosis in large-scale petrochemical plants," *2016 Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf. IWCMC 2016*, pp. 1080–1085, 2016.
- [10] G. Calzavara, E. Oliosi, and G. Ferrari, "A Time-aware Data Clustering Approach to Predictive Maintenance of a Pharmaceutical Industrial Plant," *IEEE Int.*, pp. 454–458, 2021.
- [11] Z. Balogh, E. Gatial, J. Barbosa, P. Leitão, and T. Matejka, "Reference Architecture for a Collaborative Predictive Platform for Smart Maintenance in Manufacturing," *INES 2018 - IEEE 22nd Int. Conf. Intell. Eng. Syst. Proc.*, pp. 000299–000304, 2018.
- [12] B. V. Ramani, C. A. Amith, J. M. Oommen, J. Babu, T. Paul, and V. Sankar, "Predictive analysis for industrial maintenance automation and optimization using a smart sensor network," *2016 Int. Conf. Next Gener. Intell. Syst. ICNGIS 2016*, 2017.

- [13] A. Bousdekis, D. Apostolou, and G. Mentzas, "Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities, and Managerial Implications," *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 48, no. 1, pp. 57–62, 2020.
- [14] L. D. Chiorean, M. F. Vaida, and H. Hedesiu, "Modelling an OPC UA client application for predictive maintenance support," *2020 14th Int. Symp. Electron. Telecommun. ISETC 2020 - Conf. Proc.*, pp. 5–8, 2020.
- [15] J. Yan, Y. Meng, L. Lu, and L. Li, "Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance," *IEEE Access*, vol. 5, no. c, pp. 23484–23491, 2017.
- [16] Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018.
- [17] Z. Li, Y. Wang, and K. S. Wang, "Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario," *Adv. Manuf.*, vol. 5, no. 4, pp. 377–387, 2017.
- [18] B. Lu and X. Zhou, "Quality and reliability oriented maintenance for multistage manufacturing systems subject to condition monitoring," *J. Manuf. Syst.*, vol. 52, no. June 2018, pp. 76–85, 2019.
- [19] P. Poor, J. Basl, and D. Zenisek, "Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development," *Proc. - IEEE Int. Res. Conf. Smart Comput. Syst. Eng. SCSE 2019*, pp. 245–253, 2019.
- [20] Y. Bensmain, M. Dahane, M. Bennekrouf, and Z. Sari, "Preventive remanufacturing planning of production equipment under operational and imperfect maintenance constraints: A hybrid genetic algorithm based approach," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 185, no. September 2018, pp. 546–566, 2019.
- [21] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga, "Condition-based maintenance implementation: A literature review," *Procedia Manuf.*, vol. 51, no. 2019, pp. 228–235, 2020.
- [22] L. Martins, F. J. G. Silva, C. Pimentel, R. B. Casais, and R. D. S. G. Campilho, "Improving preventive maintenance management in an energy solutions company," *Procedia Manuf.*, vol. 51, no. 2019, pp. 1551–1558, 2020.
- [23] Y. Han, X. Zhen, Y. Huang, and J. E. Vinnem, "Integrated methodology for determination of preventive maintenance interval of safety barriers on offshore installations," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 132, pp. 313–324, 2019.
- [24] Y. Peng and L. Ricardez-Sandoval, "Integration of planning, scheduling, and control for multi-product chemical systems under preventive maintenance," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 3, pp. 536–541, 2021.
- [25] R. Mena, P. Viveros, E. Zio, and S. Campos, "An optimization framework for opportunistic planning of preventive maintenance activities," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 215, no. April, p. 107801, 2021.
- [26] Q. Wang, D. Li, and X. Zhang, "A new model of preventive maintenance scheduling for parallel production line," *Proc. 2016 Progn. Syst. Heal. Manag.*

*Conf. PHM-Chengdu 2016*, no. 28, pp. 1–4, 2017.

- [27] M. Grida, A. Zaid, and G. Kholief, “Optimization of preventive maintenance interval,” *Proc. - Annu. Reliab. Maintainab. Symp.*, 2017.
- [28] I. S. Lopes *et al.*, “Multi-criteria classification for prioritization of preventive maintenance tasks to support maintenance scheduling,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, vol. 2017-Decem, pp. 2102–2106, 2018.
- [29] R. Hamidane, L. H. Mouss, A. Bellarbi, and R. Mahdaoui, “Implementation of a Preventive Maintenance System Based on Augmented Reality,” *Proc. - PAIS 2018 Int. Conf. Pattern Anal. Intell. Syst.*, pp. 1–6, 2018.
- [30] H. Yang, W. Li, and B. Wang, “Joint optimization of preventive maintenance and production scheduling for multi-state production systems based on reinforcement learning,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 214, no. April, p. 107713, 2021.
- [31] A. Cachada *et al.*, “Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture,” *IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA*, vol. 2018-Septe, pp. 139–146, 2018.
- [32] F. Alves *et al.*, “Deployment of a Smart and Predictive Maintenance System in an Industrial Case Study,” *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2020-June, pp. 493–498, 2020.
- [33] P. Aivaliotis, Z. Arkouli, D. Kaliakatsos-Georgopoulos, and S. Makris, “Prediction assessment methodology for maintenance applications in manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 104, pp. 1494–1499, 2021.
- [34] P. I. Prodanov and D. D. Dankov, “Study of time for preventive maintenance of the electronic equipment,” *2020 21st Int. Symp. Electr. Appar. Technol. SIELA 2020 - Proc.*, no. 2, 2020.
- [35] A. Bousdekis, K. Lepenioti, D. Apostolou, and G. Mentzas, “Decision making in predictive maintenance: Literature review and research agenda for industry 4.0,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 607–612, 2019.
- [36] A. El Kihel, Y. El Kihel, A. Bakdid, H. Gziri, I. Manssouri, and D. Amegouz, “Optimization of industrial energy efficiency by intelligent predictive maintenance tools case of misalignment of an industrial system,” *2020 IEEE 2nd Int. Conf. Electron. Control. Optim. Comput. Sci. ICECOCS 2020*, pp. 14–17, 2020.
- [37] S. Alaswad and Y. Xiang, “A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating system,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 157, pp. 54–63, 2017.
- [38] H. Ye, X. Wang, and K. Liu, “Adaptive Preventive Maintenance for Flow Shop Scheduling with Resumable Processing,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 106–113, 2021.
- [39] K. Kang and V. Subramaniam, “Integrated control policy of production and preventive maintenance for a deteriorating manufacturing system,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 118, no. June 2017, pp. 266–277, 2018.

- [40] J. Wang and Y. Miao, "Optimal preventive maintenance policy of the balanced system under the semi-Markov model," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 213, no. April, p. 107690, 2021.
- [41] A. Syamsundar and V. N. A. Naikan, "Assessment of Maintenance Effectiveness for Repairable Systems: PM and CM Case Studies," *2020 Asia-Pacific Int. Symp. Adv. Reliab. Maint. Model. APARM 2020*, 2020.
- [42] A. El Kihel, Y. El Kihel, A. Bakdid, H. Gziri, I. Manssour, and D. Amegouz, "Optimization of industrial energy efficiency by intelligent predictive maintenance tools case of misalignment of an industrial system," *2020 IEEE 2nd Int. Conf. Electron. Control. Optim. Comput. Sci. ICECOCS 2020*, 2020.
- [43] M. Arani, M. Dastmard, Z. D. Ebrahimi, M. Momenitabar, and X. Liu, "Optimizing the Total Production and Maintenance Cost of an Integrated Multi-Product Process and Maintenance Planning (IPPMP) Model," *ISSE 2020 - 6th IEEE Int. Symp. Syst. Eng. Proc.*, 2020.
- [44] Y. Zhu and L. Guo, "Sequential preventive maintenance interval determination based on Monte Carlo method for deteriorating systems," *ICRSE 2017*, no. Icrse, 2017.
- [45] H. H. Miyata, M. S. Nagano, and J. N. D. Gupta, "Integrating preventive maintenance activities to the no-wait flow shop scheduling problem with dependent-sequence setup times and makespan minimization," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 135, no. June 2018, pp. 79–104, 2019.
- [46] D. Wu, C. Yuan, W. Kumfer, and H. Liu, "A life-cycle optimization model using semi-markov process for highway bridge maintenance," *Appl. Math. Model.*, vol. 43, pp. 45–60, 2017.
- [47] S.-J. Arora, C. Ebbecke, M. Rabe, and J. Fisch, "Methodology for the assessment of potentials, selection, and design of Predictive Maintenance solutions," *Procedia CIRP*, vol. 104, pp. 708–713, 2021.
- [48] M. Li, M. Wang, J. Kang, L. Sun, and P. Jin, "An opportunistic maintenance strategy for offshore wind turbine system considering optimal maintenance intervals of subsystems," *Ocean Eng.*, vol. 216, no. May, p. 108067, 2020.
- [49] F. Tao and Q. Qi, "New IT driven service-oriented smart manufacturing: Framework and characteristics," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, vol. 49, no. 1, pp. 81–91, 2019.
- [50] A. Carlson and T. Sakao, "Environmental assessment of consequences from predictive maintenance with artificial intelligence techniques: Importance of the system boundary," *Procedia CIRP*, vol. 90, pp. 171–175, 2020.
- [51] E. Haun, "Time Series Prediction Algorithm for Intelligent Predictive Maintenance," *Offshore Eng.*, vol. 44, no. 5, pp. 2807–2814, 2019.
- [52] B. Zhao, S. Chen, Y. xiang Wang, and J. hong Li, "Maintenance decision methodology of petrochemical plant based on fuzzy curvelet neural network," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 69, pp. 203–212, 2018.
- [53] G. Schuh, P. Jussen, and F. Optehostert, "Iterative cost assessment of maintenance services," *Procedia CIRP*, vol. 80, pp. 488–493, 2019.

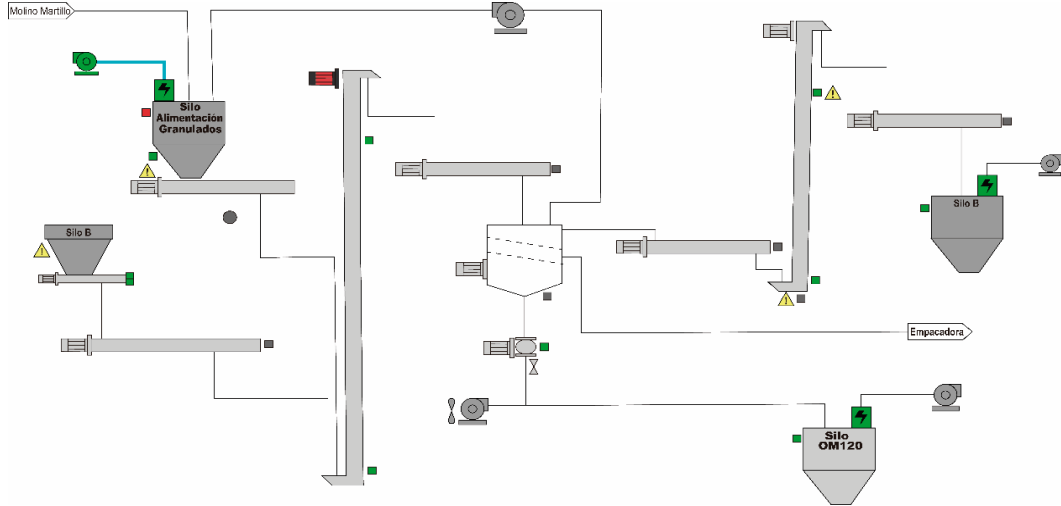


- [54] N. Wang, S. Ren, Y. Liu, M. Yang, J. Wang, and D. Huisingh, "An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 123365, 2020.
- [55] F. A. Assis, A. M. Leite da Silva, L. C. Resende, R. A. R. Moura, and M. A. O. Schroeder, "Generation maintenance scheduling with renewable sources based on production and reliability costs," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 134, no. June 2021, 2022.
- [56] L. Caldarelli, G. Cagnizi, T. Bellizio, M. Busellato, and R. Di Biasi, "Enel Green Power's 'Plant Operations & Maintenance Tool,'" pp. 1–4, 2021.
- [57] C. Mihalcea, F. Munteanu, and F. Baiceanu, "Techniques and Indices for Preventive Maintenance optimization," *EPE 2020 - Proc. 2020 11th Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, no. Epe, pp. 327–332, 2020.

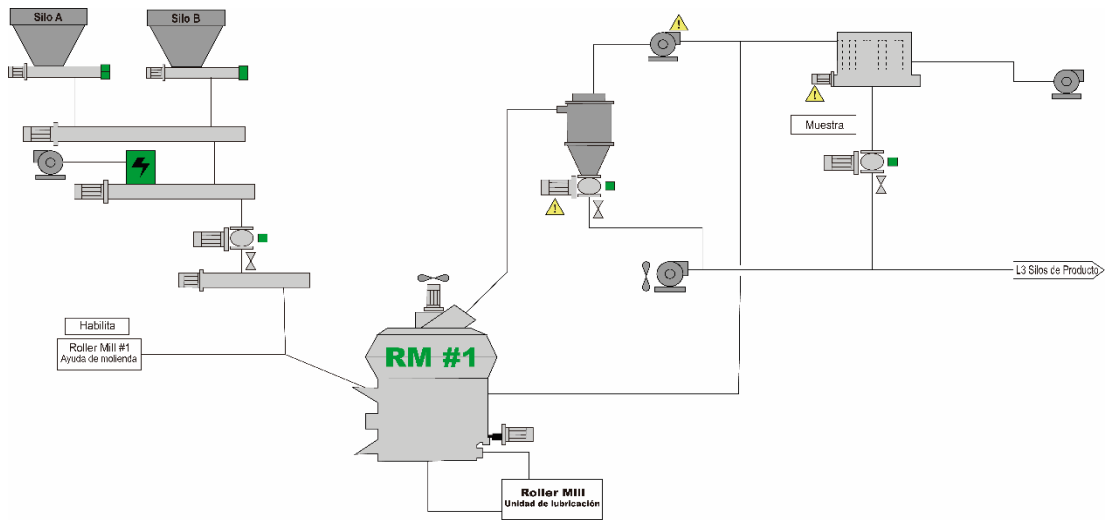
# Anexos

## Anexo 1.- Lay Out de planta

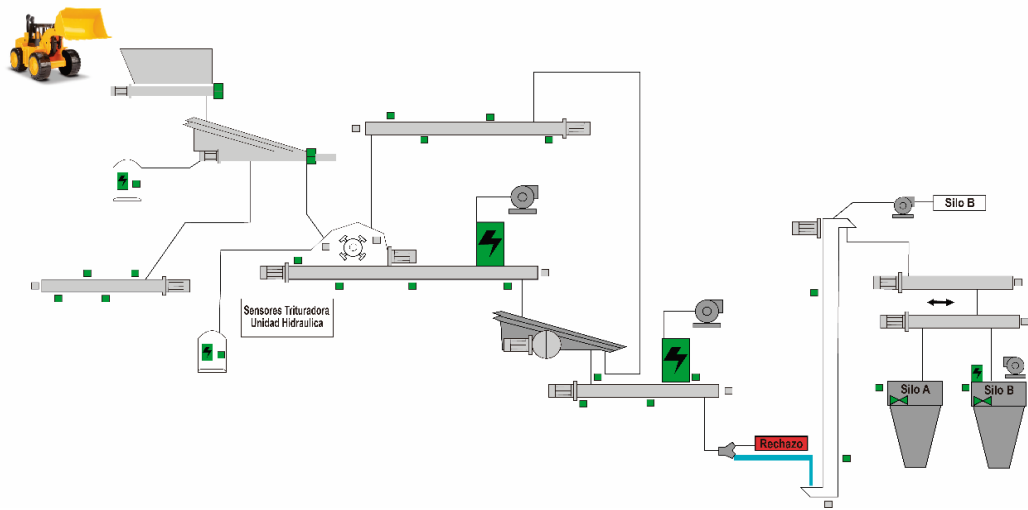
### 1.1 Línea Granulados



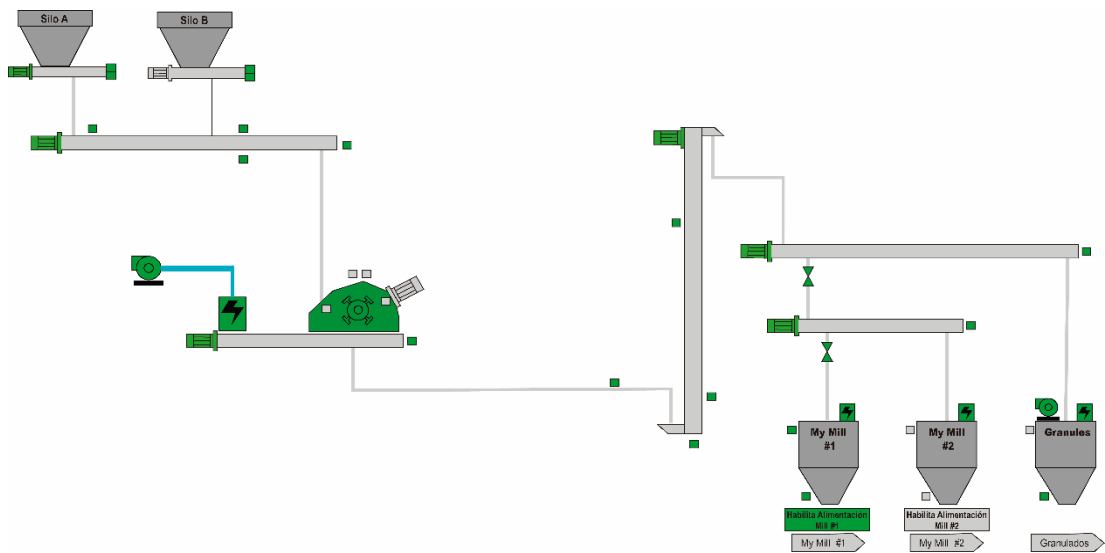
### Línea Roller Mill



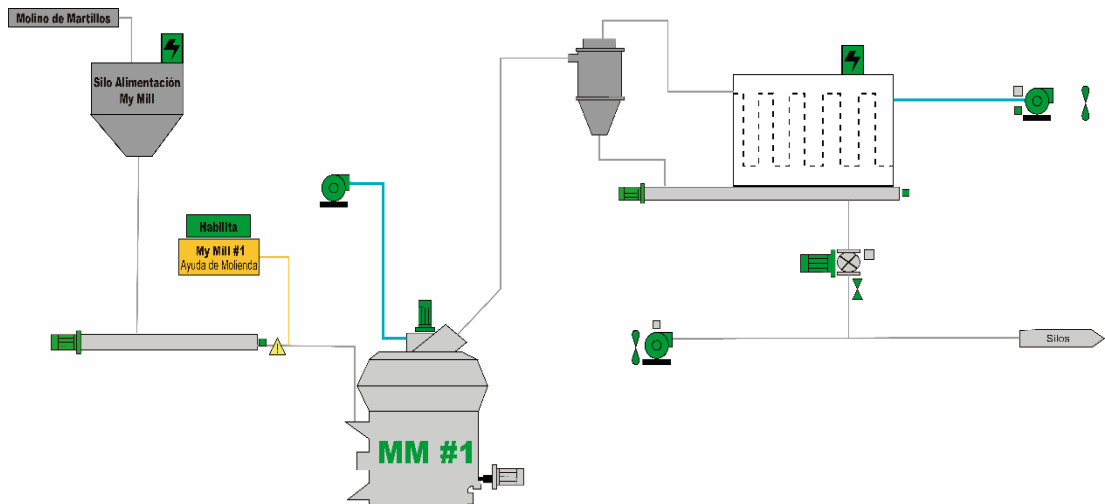
## 1.2 Línea de trituración



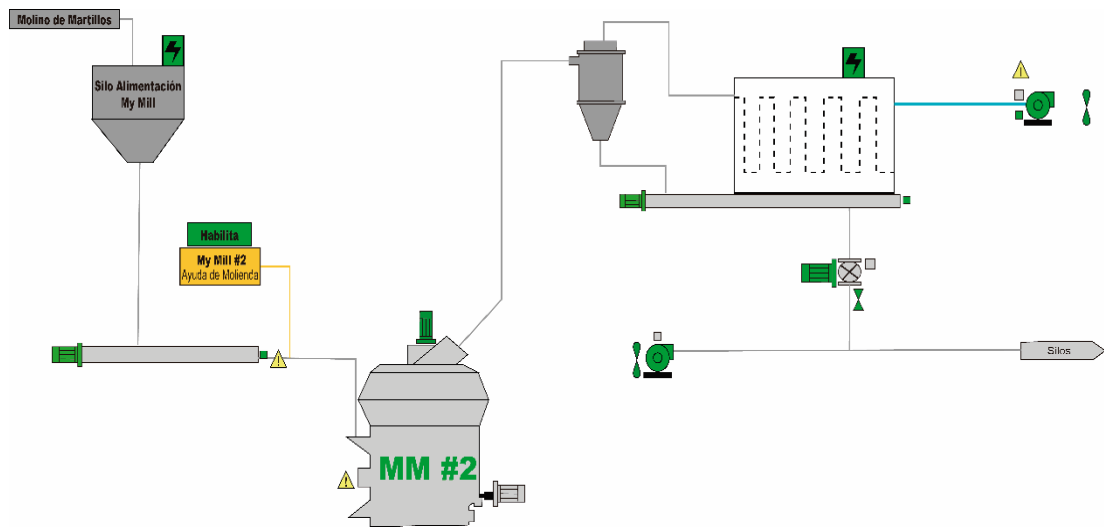
## 1.3 Línea Hammer Mill



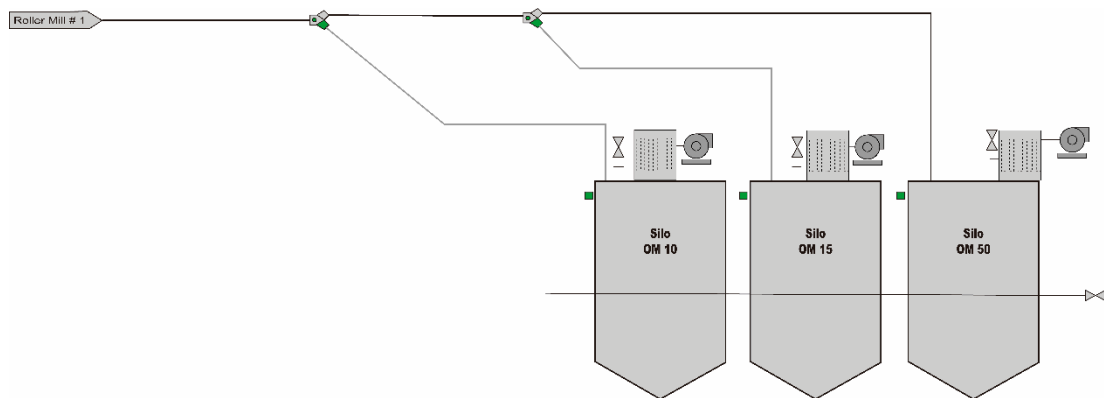
## 1.4 Línea Mymill 1



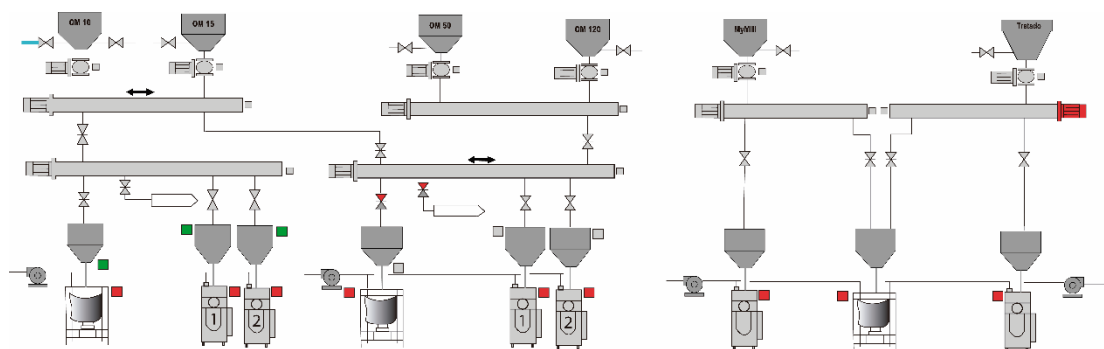
### 1.5 Línea Mymill 2



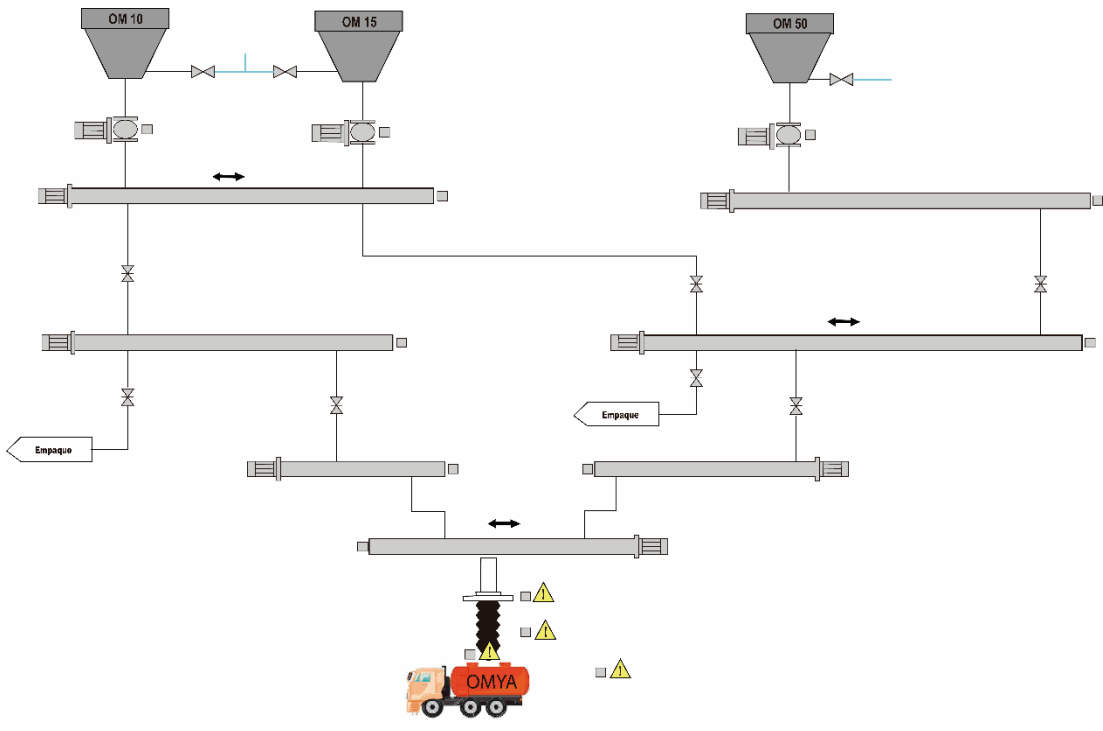
### 1.6 Silos de almacenamiento



### 1.7 Línea de empacado



### 1.8 Línea de carga al granel



## Anexo 2. Orden de trabajo

### ECQO\_REG\_Orden de Trabajo

Tipo de documento: Template  
 Referencia: T06.03.\_\_\_\_ES\_ECQO\MNT0002  
 Revisión: 1  
 Fecha de aplicación: 25.04.2019

Id: 190281320982'3  
 Aplicable para: ECQO Lacey Quito

### ORDEN DE TRABAJO



N.º de OT	1	Responsable	PP
Equipo	Impact Crusher	Ubicación	Trinuración
Fecha ultimo mtto:	1/1/2021	Semana #	1
Fecha de ejecución:	5/1/2021		

Tipo de Mantenimiento	
Programada	x
Correctiva	
Emergencia	
Inspección	
Otro	

A actividad a realizar: Revisión general de equipos

N.º	Tarea	Evaluación de Riesgo				Repuestos		Control		Encontrado OK	Calibrado/Ajustado	Reparado	Cambiado
		0	3	5	7	10	Material	Cost.	Medición				
1	Realización de permiso de trabajo												
2	Aplicar LOTOTO												
3	Revisión de estado de estructura mecánica												
4	Revisión interna de trituradora												
5	Revisión de estado de motor eléctrico (medición de corriente)												
6	Revisión de estado de bandas y poleas de transmisión de movimiento (revisar alineación)												
7	Revisión de sistema de lubricación												
8	Limpieza del área de trabajo												
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
	Ropa de trabajo		x	Gafas de seguridad		x					x		
	Protector facial			Guantes industriales		x					x		
	Mascarilla para soldador		x	Protectores auditivos		x							
	Casco de seguridad		x	Zapatos de seguridad		x							
OBSERVACIONES:-													

..... Firma Supervisor

..... Firma Ejecutor

Clase: Internal Use

S:\04\0802\Acad\35764-2015-4016-05-05-0501\5385a\Doc\2019\04-24\18.09.20.52.50012

Anexo 3. Ejemplo LOTOTO.

	<b>PROCEDIMIENTO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO</b>	PROCEDIMIENTO N°		0005			
		ELABORADO POR	VALIDADO POR	AUTORIZADO POR			
		ANDRÉ MEJÍA	DIEGO FLORES	JUAN CAMILO LOÍPEZ			
Máquina/Equipamiento: Trituradora de Impacto		Edificio: ECCQ	Elaboración: 24/12/2020				
Ubicación: Trituración		Unidad: Cayambe	Revisión: 00	Páginas: 01			
<b>1</b>		<b>BLOQUEO Y ETIQUETA NECESARIOS</b>				<b>ATENCIÓN</b>	
		EFECTUE SIEMPRE LA PARADA DE LA MAQUINA ANTES DE BLOQUEARLA					
PRÓXIMA ALECCIÓN FEB 2021		PRÓXIMA ALECCIÓN FEB 2022		PRÓXIMA ALECCIÓN FEB 2023		PRÓXIMA ALECCIÓN FEB 2024	
Trituradora de Impacto				Motor de Trituradora de Impacto			
Tablero Eléctrico (MCC PC P02)				Breaker (D1 PC01 Z01 MF01)			
<b>D1 PC01 Z01 MF01</b>				x1			
ID	Fuente	Dispositivo	Ubicación	Método	Verificación		
D1 PC01 Z01 MF01	Eléctrica	Breaker	Área de trituración	Poner el breaker en modo OFF. Aplique candado y tarjeta.	Verificar encendido del equipo en modo manual.		
Certifíquese que el responsable fue informado de la intervención y que el equipo está fuera de operación. Utilizar el EPP adecuado antes de iniciar cualquier trabajo. Señalizar y aislar el área antes de realizar un trabajo a ser ejecutado.							

**PROTECCIÓN ABIERTA NO CONSTITUYE BLOQUEO**

Cualquier modificación de la máquina debe mostrarse en el procedimiento. Póngase en contacto con el departamento de QSHE para actualizar el procedimiento.

**¡seguridad es su responsabilidad!**



## Anexo 4. Formato LOTOTO información complementaria.

<b>Objetivo:</b> Proteger a todos los trabajadores contra el accionamiento inesperado de máquinas y equipos, o de energías peligrosas.		
<b>Aplicación:</b> Utilizar este procedimiento para cualquier intervención, donde haya necesidad de colocar el cuerpo o parte de él, dentro de máquinas y equipos, así como donde exista la posibilidad de liberación de algún tipo de energía peligrosa.		
<b>Atención:</b> El incumplimiento de este procedimiento puede acarrear en la aplicación de medidas disciplinarias, así como el despido inmediato.		
SECUENCIA DE APAGADO		
Nº	ETAPAS	DESCRIPCIÓN
1	<b>Comunicar Implicados en la Intervención</b>	Comunicar a todos los trabajadores implicados en el cierre y bloqueo del equipo o sistema antes de realizar cualquier servicio o mantenimiento en el lugar.
2	<b>Comprobar el procedimiento de bloqueo y etiquetado</b>	El trabajador que realizará la intervención debe verificar el procedimiento de bloqueo y etiquetado para identificar el tipo y la magnitud de la energía existente en la máquina o equipo, conocer los peligros y riesgos involucrados, y los medios de control para garantizar un trabajo seguro.
3	<b>Parar Máquinas y Equipos</b>	Parar máquinas y equipos Si el equipo está encendido, apáguelo a través del procedimiento de parada normal (presione el botón de emergencia, apague la llave general, cierre las válvulas, drene fluidos, alivie la presión, bloquee las tuberías, etc.).
4	<b>Aislar Energía peligrosa</b>	Aislar la energía peligrosa siga la secuencia gráfica de arriba hacia abajo de este procedimiento para aislar las fuentes de energía peligrosas de máquinas y equipos.
5	<b>Bloquear la energía peligrosa</b>	Realice el bloqueo y el etiquetado de la fuente de energía peligrosa.
6	<b>Disipar energía residual</b>	Restringir o disipar la energía residual por medio de puesta a tierra, reposicionamiento, bloqueo, drenaje, etc. en los condensadores, resortes, volantes rotativos, sistemas hidráulicos, neumáticos, presurizados o retorno de vapor, entre otros.
7	<b>Prueba para Reilgar Equipos</b>	Asegúrese de que el equipo está desconectado de las fuentes de energía, si hay trabajadores en el lugar, si el aislamiento ha sido efectivo y si la prueba de funcionamiento manual garantiza que el equipo no funcionará.

SECUENCIA DE RESTAURACIÓN DEL EQUIPO		
Nº	ETAPAS	DESCRIPCIÓN
1	<b>Inspeccionar Equipos</b>	Inspeccione la máquina o el equipo y las áreas alrededor para asegurarse de que los elementos que no son esenciales han sido removidos y que los componentes de las máquinas o equipos están en condiciones normales de funcionamiento.
2	<b>Comprobar área de trabajo</b>	Compruebe el área de trabajo para asegurarse de que todos los trabajadores se hayan localizado o se hayan retirado a un área segura antes de volver a conectar el equipo.
3	<b>Comprobar los controles operativos</b>	Asegúrese de que los controles estén en la posición neutra.
4	<b>Quitar bloqueos</b>	Quite las trabas, las etiquetas y los dispositivos de bloqueo para volver a la máquina o el equipo. Nota: La eliminación de algunas formas de bloqueo puede requerir la regeneración de la máquina antes de la eliminación segura.
5	<b>Comunicar Implicados en la terminación del trabajo</b>	Comunicar a todos los trabajadores involucrados de la reconexión y desbloqueo del equipo para su uso.



## Anexo 5. Costo total acumulado de maquinaria.

<b>Costo total acumulado de maquinaria</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Código Eq.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
WBS	CQ.73	<b>Trituración</b>	\$ 1,425,013
WBS	CQ.73.302	<b>Alimentación de materia prima</b>	\$ 258,990
Elemento	CQ.73.303	<b>Wobbler screen D1 PC01 F01</b>	\$ 133,053
WBS	CQ.73.304	<b>Trituradora de impacto</b>	\$ 251,421
WBS	CQ.73.305	<b>Filtros de desempolvado</b>	\$ 31,463
WBS	CQ.73.306	<b>Transportadores de trituración</b>	\$ 287,351
Elemento	CQ.73.307	<b>Criba inclinada D1 PC01 F04</b>	\$ 51,087
WBS	CQ.73.308	<b>Silos de material triturado</b>	\$ 375,925
WBS	CQ.74	<b>Procesos</b>	\$ 1,653,262
WBS	CQ.74.401	<b>Línea de molino de martillos</b>	\$ 184,830
WBS	CQ.74.401.01	<b>Alimentadores vibratorios</b>	\$ 25,003
WBS	CQ.74.401.02	<b>Molino de martillos</b>	\$ 69,616
WBS	CQ.74.401.03	<b>Transportadores de molino de martillos</b>	\$ 90,212
Elemento	CQ.74.401.04	<b>Filtro de desempolvado D2 SC01 F01</b>	\$ 10,685
WBS	CQ.74.402	<b>Línea de molino Roller SBM</b>	\$ 668,372
WBS	CQ.74.402.01	<b>Alimentadores vibratorios</b>	\$ 22,816
WBS	CQ.74.402.02	<b>Molino Roller SBM</b>	\$ 484,514
WBS	CQ.74.402.03	<b>Transportadores de molino Roller SBM</b>	\$ 161,043
WBS	CQ.74.403	<b>Línea de MyMill 1</b>	\$ 359,553
Elemento	CQ.74.403.01	<b>Tolva de alimentación MyMill 1 - D2 RM02 B01</b>	\$ 7,351
WBS	CQ.74.403.02	<b>Molino MyMill 1</b>	\$ 291,990
Elemento	CQ.74.403.03	<b>Filtro de desempolvado MyMill 1 - D2 RM02 F01</b>	\$ 2,870
WBS	CQ.74.403.04	<b>Transportadores de Molino MyMill 1</b>	\$ 60,212
WBS	CQ.74.404	<b>Línea de MyMill 2</b>	\$ 57,598
Elemento	CQ.74.404.01	<b>Tolva de alimentación D2 RM03 B01</b>	\$ 5,476
WBS	CQ.74.404.02	<b>Molino MyMill 2</b>	\$ 42,453
Elemento	CQ.74.404.03	<b>Filtro de desempolvado - D2 RM03 F01</b>	\$ 2,870
WBS	CQ.74.404.04	<b>Transportadores de Molino MyMill 2</b>	\$ 9,670

WBS	CQ.74.405	Línea de molino de tratado (3WC)	\$	134,027
WBS	CQ.74.405.01	Alimentación línea de tratado	\$	45,553
WBS	CQ.74.405.02	Molino de tratado 3WC	\$	46,914
Elemento	CQ.74.405.03	Filtro de desempolvado - D2 ST01 F3	\$	7,216
WBS	CQ.74.405.04	Transportadores de molino de tratado	\$	41,560
WBS	CQ.74.406	Línea de criba tambaleante	\$	248,880
Elemento	CQ.74.406.01	Alimentador vibratorio - D2 SR01 X02	\$	12,045
Elemento	CQ.74.406.02	Tolva de alimentación de criba - D2 SR01 B01	\$	16,165
Elemento	CQ.74.406.03	Criba tambaleante - D2 SR01 F02	\$	76,405
Elemento	CQ.74.406.04	Filtro de desempolvado - D2 SR01 F01	\$	9,448
WBS	CQ.74.406.05	Transportadores de criba tambaleante	\$	134,818
<b>Elemento</b>	<b>CQ.74.407</b>	<b>Puente Grúa</b>	\$	<b>2,117,478</b>
WBS	CQ.74.408	Sala eléctrica medio voltaje	\$	299,121
WBS	CQ.74.409	Sala control y bajo voltaje	\$	1,750,830
WBS	CQ.74.410	Sistema de Aire Comprimido	\$	67,527
WBS	CQ.75	<b>Eq. Empacado</b>	\$	<b>1,230,349</b>
WBS	CQ.75.501	Silos de producto terminado	\$	631,403
WBS	CQ.75.502	Transportadores de empacado	\$	178,891
WBS	CQ.75.503	Empacado OM10 - OM15	\$	104,526
WBS	CQ.75.504	Empacado OM50 - OM120	\$	58,605
WBS	CQ.75.505	Empacado finos y tratado	\$	105,719
WBS	CQ.75.506	Empacado de granos	\$	-
WBS	CQ.75.507	Carga a granel	\$	72,704
WBS	CQ.75.508	Básculas e infraestructura de camiones	\$	78,501
			\$	<b>6,426,102</b>