



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Propuesta de modelo de gestión de mantenimiento  
para la planta de tratamiento de agua potable en  
Tixán Etapa EP “Modulo II”.

Trabajo de graduación previo a la obtención del  
título de Magíster en Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. José Luis Molina Molina.

Director: M.Sc. Luis Felipe Sexto

Cuenca - Ecuador

2020

## Dedicatoria

*A mi esposa Celena, gracias por su apoyo y amor incondicional.*

*A mis padres Guillermo y Lorena que han sido pilares para mi desarrollo profesional.*

*Dedico a ellos este trabajo investigativo, ya que sin su apoyo no lo hubiera logrado.*

## Agradecimiento

*Un agradecimiento a los docentes de la Universidad del Azuay por impartir sus conocimientos, en especial a Luis Felipe Sexto; de igual manera a Juan Diego Espinoza y personal de Etapa de la Planta de Tixán.*

**Resumen-**

Este artículo muestra una propuesta de modelo de gestión de mantenimiento que involucra el mantenimiento productivo total (TPM) usando el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) como herramienta de enfoque. El RCM se aplica sobre los activos críticos dentro del proceso productivo de la potabilización del agua. Este modelo de mantenimiento puede ser implementado y desarrollado directamente en el departamento de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán PTAP Tixán Módulo II, Cuenca, Ecuador.

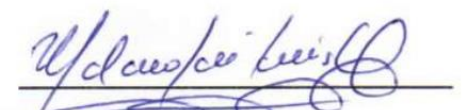
**Abstract-**

This article shows the proposal of a maintenance management model that involves Total Productive Maintenance (TPM) using Reliability Centered Maintenance (RCM) as the main technique. RCM is applied to critical assets within the production process of water purification. This maintenance model can be implemented and developed directly in the maintenance department of the Tixán PTAP Tixán Module II drinking water treatment plant in Cuenca, Ecuador.

Ing. José Luis Molina Molina  
**Author**

M.Sc. Ing. Luis Felipe Sexto  
**Thesis Director**

Translated by

  
MOLINA MOLINA JOSE LUIS  
0302217633

# Propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para la planta de tratamiento de agua potable en Tixán Etapa EP “Módulo II”

José Luis Molina Molina  
Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador  
jlmolina05@gmail.com

**Resumen**—Este artículo muestra una propuesta de modelo de gestión de mantenimiento que involucra el mantenimiento productivo total (TPM) usando el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) como herramienta de enfoque. El RCM se aplica sobre los activos críticos dentro del proceso productivo de la potabilización del agua. Este modelo de mantenimiento puede ser implementado y desarrollado directamente en el departamento de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán PTAP Tixán Módulo II, Cuenca, Ecuador.

**Index Terms**—Propuesta de gestión de Mantenimiento, análisis de criticidad método cualitativo, mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), mantenimiento productivo total (TPM), Planta de tratamiento de agua potable Tixán Modulo II.

## I. INTRODUCCIÓN

La empresa pública “ETAPA-EP” presta sus servicios en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. Está a su cargo satisfacer las necesidades de: agua potable, alcantarillado, telecomunicaciones y saneamiento de la ciudad; de conformidad con la Ordenanza de Constitución de La Empresa Pública Municipal de expedida el 14 de enero del 2010. Ordenanza de ETAPA EP, 2010.

En lo que concierne al servicio de agua potable Etapa cuenta con una planta de potabilización de agua en el sector de Tixán, que cubre las necesidades de suministro del líquido vital a un importante sector de la ciudad. Actualmente ha tenido un considerable incremento en su infraestructura y capacidad de producción mediante la construcción de un segundo módulo.

Debido a este avance, se encuentra con la necesidad de implementar un modelo de gestión del mantenimiento del segundo módulo, del que actualmente carece, en la consecuencia de la implementación de recientes activos; considerando la realización de una jerarquización de sus nuevos activos en función de su criticidad con la finalidad de preservarlos y así disminuir en lo posible su indisponibilidad. La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo [1].

Dentro del proceso productivo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán Módulo II, están identificados claramente los procedimientos que crean valor, como lo indica la Figura 1, desde la captación del agua cruda, hasta la distribución del agua con estándares de calidad aptas para

el consumo humano.

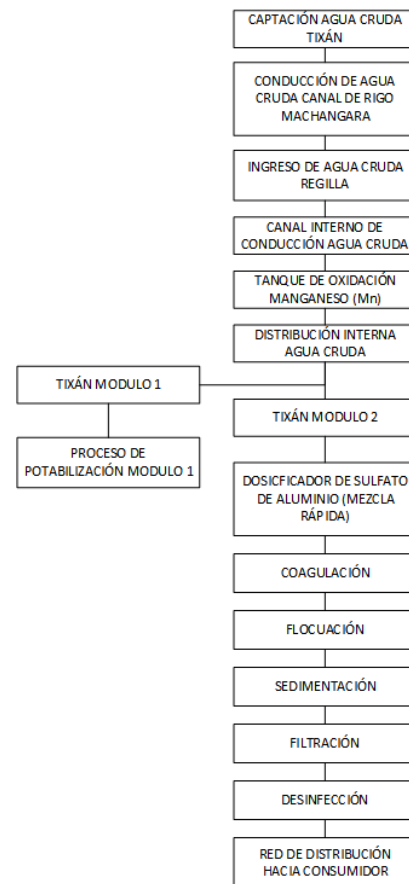


Figura 1. Proceso productivo PTAP Tixán Módulo II.

Los objetivos del presente trabajo son:

- Realizar un modelo de gestión del mantenimiento en la PTAP Tixán Módulo II, que ayude a mejorar las relaciones de producción con las de mantenimiento, mejorando así la fiabilidad de las máquinas y reduciendo los costos de operación.
- Realizar un análisis de la situación actual para conocer los objetivos, políticas y los responsables del

mantenimiento.

- Identificar los activos que forman parte del proceso de potabilización para establecer un análisis de criticidad.
- Diseñar una propuesta de modelo de gestión que involucre el TPM y RCM como una herramienta para el enfoque del TPM.

## II. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Una vez conocidos los objetivos estratégicos a nivel corporativo y propios de la PTAP Tixán Módulo II, se procedió a realizar un análisis referente a la gestión del mantenimiento, para ello se realizó una auditoría en la empresa dentro de las siguientes categorías: 1. organización personal y relaciones, 2. preparación y planificación del trabajo, 3. ingeniería, inspección y mantenimiento preventivo, 4. compras y almacenes de materiales, 5. contratación, 6. presupuesto de mantenimiento y control de costos, y 7. eficiencia. La figura 2 muestra el criterio de selección de rangos, representando el grado de efectividad de cada función; para la calificación se establece entre 1 (como no conformidad crítica) y 10 (como conformidad).

CRITERIO	RANGO ESCALA
NO CONFORMIDAD CRÍTICA	1
	2
	3
	4
NO CONFORMIDAD MENOR	5
	6
	7
CONFORMIDAD MENOR	8
	9
CONFORMIDAD	10

Figura 2. Criterios de evaluación sobre la gestión del mantenimiento en PTAP Tixán Módulo II.

Los resultados obtenidos en la evaluación en base a la figura 3 evidencian una medición en expresiones numéricas de la gestión del mantenimiento. Según el resultado del análisis mostrado en la figura 4 y figura 5, demuestran una inconformidad menor, lo que revela la falta de planificación del mantenimiento en el nuevo módulo, justificado por la incorporación de nuevos equipos.

DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PTAP TIXÁN MÓDULO II					
% Ponderación Áreas "A"	ÁREAS/FUNCIONALES	% Ponderación FUNCIONES "B"	"C"= CALIFICACIÓN ÁREA/FUNCION (10 Perfecto)	% Calific. AREA	% Calific. MTO
			1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	$D = \frac{BXC}{10}$	$F = \frac{AXD}{100}$

Figura 3. Diagnóstico de la gestión del mantenimiento [2].

## III. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Existen diversas técnicas para analizar la criticidad que permiten jerarquizar los activos dependiendo del grado de información que se disponga. La PTAP Tixán Módulo II, al ser un nuevo sistema, y no disponer de un registro de fallos en los activos, el método de análisis y jerarquización debe acoplarse a estas características.

El propósito para realizar el análisis es conocer los activos

No.	CATEGORÍA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	META	CALIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	% DE CADA CRITERIO
1	Organización Personal, Relaciones.	20	8,6	43%
2	Preparación y Planificación del Trabajo.	10	1,7	17%
3	Ingeniería, Inspección y Mantenimiento Preventivo.	25	12,0	48%
4	Compras y Almacenes de Materiales.	10	7,5	75%
5	Contratación.	10	10,0	100%
6	Presupuesto de mantenimiento y control de costos.	15	12,8	85%
7	Eficiencia.	10	4,6	46%
	TOTAL	100	57,05	57%

Figura 4. Resultado de evaluación a la gestión del mantenimiento en PTAP Tixán Módulo II.

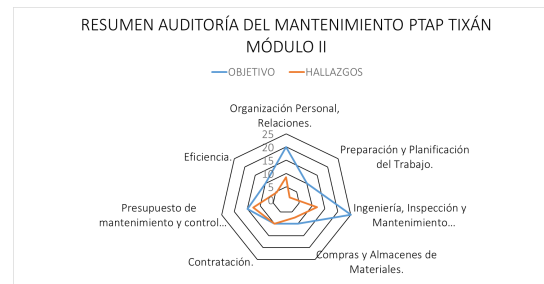


Figura 5. Resumen de auditoría sobre la gestión del mantenimiento en PTAP Tixán Módulo II.

que son críticos, con el fin de implementar sistemas de gestión para la realización del mantenimiento, y a su vez seleccionar el método de análisis que se acople a la situación actual de la planta.

A continuación, se detallan algunos métodos de jerarquización [3].

III-A. *Análisis de criticidad utilizando técnicas cualitativas.*

III-B. *Análisis de criticidad utilizando técnicas de evaluación de riesgos.*

III-C. *Análisis de criticidad utilizando AHP proceso analítico jerárquico.*

Debido a que los criterios para la jerarquización están basados en las opiniones y experiencias de los operarios, y que en este estudio no se disponen de registros históricos, los métodos a utilizar son las técnicas cualitativas y AHP, ya que, los dos tipos de análisis pueden ser aplicados en estas condiciones.

Para el desarrollo del análisis de criticidad se aplicó el estándar NORSOK [4]. El análisis de la norma NORSOK es aplicable en la fase de diseño, preparación de la operación y fase de funcionamiento. Esta norma establece pasos para definir la jerarquía funcional y análisis de criticidad, una plataforma de decisiones basada en los riesgos relacionados con la gestión de actividades de mantenimiento.

Dentro de la clasificación de los activos de la planta de Tixán se segmentan en áreas identificadas como: oxidación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, bombeo, dosificación, y grupo electrógeno. En los procesos descritos anteriormente se presentan un resumen tabla I.

Tabla I  
CUANTIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN PROCESO EN PTAP TIXÁN  
MÓDULO II.

Proceso	Cantidad de Equipos
Oxidación	18
Floculación	4
Sedimentación	18
Filtración	52
Desinfección	10
Bombeo, dosificación de químicos	14
Grupo electrógeno	3
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>

Al realizar la valoración del análisis de criticidad considerando la consecuencia, estas tienen que ser delimitadas claramente para realizar una correcta evaluación, tomando en cuenta los criterios relacionados con la seguridad, medio ambiente, y lo relacionadas con la pérdida de la producción. A continuación, se detallan los criterios según la recomendación de la norma NORSOK [4] mostrada en la figura 6.

Clase	Salud, seguridad y medio ambiente (HSE)	Producción	Costo (exclusiva pérdida de la producción)
<b>Alta</b>	Posibilidad de lesiones graves al personal. Hacer que los sistemas críticos de seguridad no funcionen. Potencial de incendio en áreas clasificadas. Gran potencial de contaminación.	Parada en la producción / reducción significativa de la tasa de producción que excede X horas (especifique la duración) dentro de un período de tiempo definido.	Costo sustancial - superior a Y NOK (especificar límite de costo)
<b>Media</b>	Posibilidad de lesiones que requieren tratamiento médico. Efecto limitado en los sistemas de seguridad. No hay potencial de incendio en áreas clasificadas. Potencial de contaminación moderada.	Breve parada en producción / tasa de producción reducida que dura menos de X horas (especifique la duración) dentro de un período de tiempo definido.	Costo moderado entre Z - Y NOK (especificar costo límites)
<b>Baja</b>	No hay potencial de lesiones. No hay potencial de incendio o efecto en los sistemas de seguridad. Sin potencial de contaminación (especifique límite)	Sin efecto sobre la producción dentro un período de tiempo definido	Costo insignificante menos de Z NOK (especificar límite de costo)

Figura 6. Clasificación general de la consecuencia [4].

El nivel de la redundancia debe ser especificado con respecto a la pérdida según la tabla II.

Tabla II  
CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA REDUNDANCIA [4].

Redundancia	Definición del grado de redundancia
<b>A</b>	Sin redundancia, es decir, se requiere todo la función principal para evitar cualquier pérdida de función.
<b>B</b>	Una unidad paralela puede sufrir un fallo sin influir en la función.
<b>C</b>	Dos o más unidades paralelas pueden sufrir una falla al mismo tiempo sin influir en la función.

Para la evaluación de la consecuencia se establece relaciones con la salud, seguridad y medio ambiente, producción, y costo de pérdida de la producción. Luego de haber realizado la evaluación de la criticidad analizada como consecuencia,

es importante examinar la frecuencia de fallos en función de las experiencias del personal de mantenimiento.

Dichas referencias son tomadas de fallas experimentadas en el módulo I de la PTAP Tixán. A continuación se expone la jerarquía para evaluar la frecuencia de fallas de cada componente:

Tabla III  
ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLOS.

Análisis de la frecuencia de fallos		
Categoría	Frecuencia	Rango
A	> 10	4
B	> 4 y < 10	3
C	> 2 y < 4	2
D	> 0 y < 2	1

Para el análisis de la criticidad se emplea la siguiente fórmula:

$$Criticidad = (Frecuencia) \cdot (Consecuencia) \quad (1)$$

De esta manera se puede cuantificar y obtener una jerarquización en función del grado de criticidad de los equipos (tabla IV).

Tabla IV  
CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD SEGÚN EL GRADO.

Grado	Criticidad
<b>Alto</b>	>2
<b>Medio</b>	2
<b>Bajo</b>	1

Aplicando estas consideraciones se obtuvieron los equipos críticos según como lo demuestra la figura 7.

Resumen evaluación de criticidad										
activo	RED	HSP	P	C	consecuencia (C)	(C)	fallos/año	rango frec. (F)	criticidad = (F) X (C)	grado criticidad
<b>Proceso de bombeo, dosificación</b>										
Dosificador sulfato de aluminio 1	C	2	3	3	233>=3C	3	3	2	6	Alto
Dosificador sulfato de aluminio 2	C	2	3	3	233>=3C	3	3	2	6	Alto
Dosificador de permanganato 5	A	2	3	3	233>=3A	3	3	2	6	Alto
Dosificador de permanganato 6	A	2	3	3	233>=3A	3	3	2	6	Alto
<b>Proceso de desinfección</b>										
Dosificador de cloro gas 1	B	2	3	3	233>=3B	3	0,2	1	3	Alto
Dosificador de cloro gas 1	B	2	3	3	233>=3B	3	0,2	1	3	Alto
<b>Grupo electrógeno</b>										
Transformador 300kVA	B	3	3	3	333>=3B	3	0,1	1	3	Alto
Generador	A	2	3	3	233>=3A	3	0,1	1	3	Alto

Figura 7. Resumen evaluación de criticidad sobre los activos PTAP Tixán Módulo II

Explicación: Consecuencia. = Criticidad expresada como Consecuencia. Cifras: 3 = Alto, 2 = Medio, 1 = Bajo representan: HSE, Producción y Costo respectivamente. > = El último resultado es una combinación del grado más alto de Consecuencia y Redundancia (A-Sin redundancia, B-Uno redundancia, C-Dos o más redundancias) en la fase operativa [4].

#### IV. ANÁLISIS RCM

El mantenimiento basado en la confiabilidad o RCM, permite analizar los fallos potenciales que un sistema puede tener, conocer sus consecuencias, y cómo estas pueden ser evitadas. Originalmente el RCM fue desarrollado en la industria de la aviación y por su éxito posteriormente fue aplicado al sector industrial.

Para el análisis del RCM, se utilizaron los criterios de la norma SAE JA1011 [5], con la finalidad de aumentar la fiabilidad y así reducir los costos incurridos en el mantenimiento. Según esta norma, las preguntas básicas del proceso de mantenimiento basado en la confiabilidad son:

Tabla V  
PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM [5].

1	¿Cuáles son las funciones y los estándares asociados de desempeño deseado del activo en su contexto de operación actual (funciones)?
2	¿En qué formas puede fallar el cumplimiento de sus funciones (fallos funcionales)?
3	¿Cuál es la causa de cada fallo funcional (modos de fallo)?
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo (efectos del fallo)?
5	¿Qué importancia tiene cada fallo (consecuencias del fallo)?
6	¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada fallo (tareas proactivas e intervalos de las tareas)?
7	¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada (acciones alternativas)?

La implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad se aplicó según la secuencia básica mostrada en la figura 8.

La implementación de las primeras cuatro preguntas se efectuaron mediante la norma española: Análisis de los Modos de Fallo y sus efectos (AMFE) [7], realizado conjuntamente con el personal de la PTAP Tixán a través de la hoja de trabajo (figura 9); dicho análisis se efectuó sobre los sistemas críticos analizados previamente.

Para la evaluación del riesgo del fallo se la realizó de manera cuantificativa referente a la criticidad, es decir mediante el cálculo del número prioritario de riesgo o NPR [7]. Esta depende del conocimiento tácito del operador o personal que esta en contacto con el activo o componente a ser evaluado; por ende, está orientado a la subjetividad del mismo. Esta

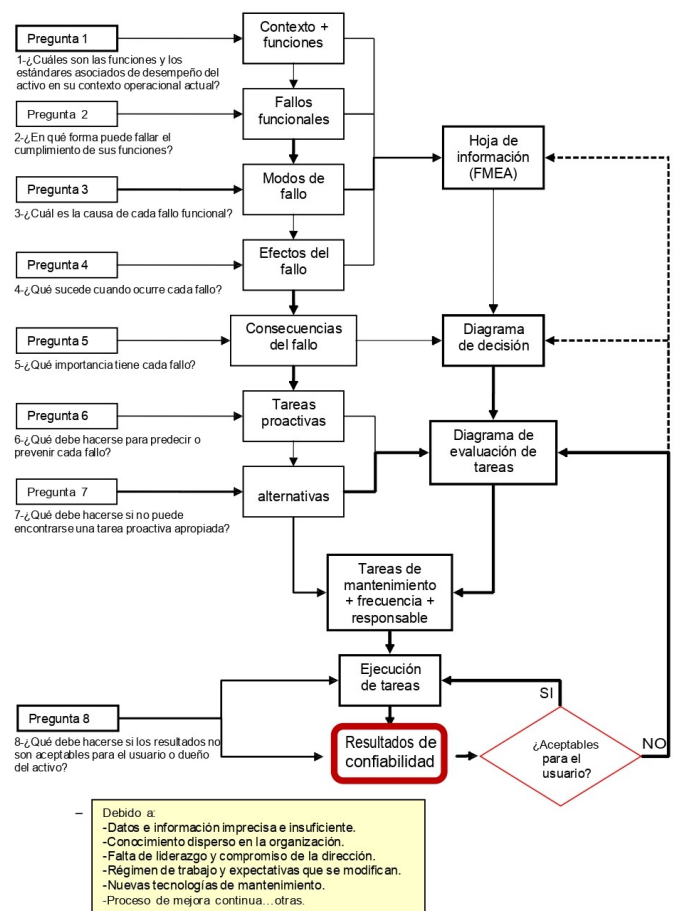


Figura 8. Secuencia básica de un proceso RCM [6].

Elemento final: Periodo de operación:		Elemento: Revisión:					Preparado por: Fecha:				
Ref. Elemento	Descripción y función del elemento	Modo de fallo	Código del modo de fallo	Posibles causas de fallo	Efecto local	Efecto final	Método de detección	Medidas de compensación contra el fallo	Categoría de severidad	Frecuencia o probabilidad de ocurrencia	Comentarios

Figura 9. Hoja de Trabajo AMFE [7].

evaluación de la consecuencia del fallo está representada de la siguiente manera:

$$NPR = S.O.D \quad (2)$$

NPR= Severidad x Ocurrencia x Detección

Para la ponderación de valores según la severidad, ocurrencia, y detección, se establecen los criterios que han sido tomados como referencia de los procedimientos para realizar un modo de falla, análisis de efectos y criticidad [8], y las definiciones de término de fiabilidad y mantenimiento [9]. En este sentido según la figura 10, se puede obtener un valor máximo de NPR de 100, y un mínimo de 1.

Esta evaluación se realizó sobre los activos críticos encontrados en el análisis de criticidad, posteriormente se

Sistema:		Dosificador de Sulfato de Aluminio												
Componentes		Varios.												
Ref. Elemento	Descripción y función del elemento	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO	EFEECTO LOCAL	EFEECTO FINAL	S	O	D	NPR	Método de detección	(tareas proactivas)	(tareas alternativas)	RESPONSABLE	FRECUENCIA DE REVISIÓN
Dosificador Sulfato de aluminio 1,2	Permite suministrar y dosificar el sulfato de aluminio de acuerdo a los parámetros establecidos, para su mezcla con el agua y posteriormente ser suministrado en el agua cruda.	Tornillo (Helicoidal) Sin Fin, no se mueve.	Tornillo roto.	No permite el paso del sulfato de aluminio desde las tolvas hacia los tanques de mezcla con el agua.	No se dosifica el sulfato de aluminio por ende no se puede continuar con el proceso de potabilización del agua.	5	4	1	20	Visual, PLC (alarma, estado de error)	1. Revisar si tornillo de dosificación presenta algún desperfecto. 2. Comprobar si los compuestos no presentan elementos extraños en la tolva. 3. Realizar cambios de tornillo según recomendación de fabricante.	1. Sustituir tornillo de dosificación.	Ing. Mecánico	Semanal.

Figura 11. Análisis RCM aplicado a un componente de un activo crítico en PTAP Tixán Módulo II.

Valor	Categorización de la severidad		Categorización de la ocurrencia		Categorización de la detección	
	Criterio	Descripción	Criterio	Descripción	Criterio	Descripción
1	Insignificante	Se puede realizar la función primaria, pero se requiere una reparación urgente.	Improbable	Probabilidad de ocurrencia inferior a 0,1%	Muy identificable	Posibilidad muy alta de identificación.
2	Mediano	Reducción principal de la función primaria.	Poco Probable	Probabilidad de ocurrencia inferior a 1% y mayor a 0,1%.	Identificable	Posibilidad moderada de identificación.
3	Crítico	Causa una pérdida de la función primaria.	Ocasional	Probabilidad de ocurrencia inferior a 10% y mayor a 1%.	Poco identificable	Posibilidad remota de identificación.
4	Muy grave	El producto se vuelve inoperante.	Probable	Probabilidad de ocurrencia inferior a 20% y mayor a 10%.	No identificable	No se puede identificar, requiere de equipos adicionales.
5	Catastrófico	El producto se vuelve inoperante, con riesgos al personal.	Frecuente	Probabilidad de ocurrencia superior al 20%.		

Figura 10. Categorización de la severidad, ocurrencia, y detención.

identifico que importancia tiene cada fallo para intervenir con las tareas alternativas y proactivas, denotando la importancia de la participación del personal de mantenimiento para definir estas actividades.

El análisis RCM resultante sirve como una importante herramienta de apoyo para la implementación del análisis TPM, ya que la determinación de estos activos críticos servirán como equipos piloto que posteriormente se pueden aplicar a toda la organización.

En la figura 11, se muestra la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad en uno de los componentes críticos encontrados, como es el caso del dosificador sulfato de aluminio, que presenta una falla funcional con calificación NPR=20.

## V. ANÁLISIS TPM

El mantenimiento productivo total TPM es el mantenimiento realizado por todos los empleados a través de actividades en grupos pequeños. Al igual que el control de calidad total de la compañía (TQC), el TPM es el mantenimiento del equipo realizado en toda la compañía [10].

El TPM de origen japonés surgió alrededor del año 1971 con la finalidad de aumentar la disponibilidad de las máquinas mediante una mejor utilización de los recursos de mantenimiento y producción, al disminuir los desperdicios, imperfecciones o defectos que estos puedan tener mediante la implementación de diversas técnicas como la llamada 5S, disminución de las seis grandes pérdidas (fallas en el equipo,

ajuste de las máquinas, averías menores, disminución en la velocidad de operación, defectos en el proceso, y pérdidas de tiempo), diagramas de Pareto, análisis de causa raíz, entre otros.

Existen pilares donde se fundamenta el mantenimiento productivo total para ser implementado, estos son: mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mantenimiento de la calidad, mantenimiento temprano prevención del mantenimiento, mantenimiento de las áreas administrativas, entrenamiento, educación, capacitación y crecimiento, seguridad higiene y medio ambiente.

Las 5S son instrumentos avanzados que permiten elevar la productividad y mejorar el ambiente de trabajo, tanto en mantenimiento como en producción [1].

Las 5S son abreviaturas de las palabras japonesas:

Tabla VI  
DEFINICIÓN DE LAS 5S [1].

SEIRI	Seleccionar	Separar, descartar, despejar
SEITON	Ordenar	Acomodar, ordenar
SEISO	Limpiar	Limpiar inspeccionando
SEIKETSU	Estandarizar	Mantener, uniformar, mejorar
SHITSUKE	Autodisciplina	Entrenamiento y disciplina

La implantación exitosa del TPM requiere de:

Tabla VII  
ÉXITO DE LA IMPLANTACIÓN DEL TPM [10].

1	Eliminar las 6 grandes pérdidas para mejorar la efectividad del equipo.
2	Un programa de mantenimiento autónomo.
3	Un programa para el departamento de mantenimiento.
4	Incrementar las capacidades del personal de mantenimiento y operaciones.
5	Un programa inicial de dirección y gestión del equipo.

Para organizar la implementación del TPM en la PTAP Tixán módulo II, como modelo de gestión se desarrollará en base a los 12 pasos según como lo establece Seiichi Nakajima en la tabla VIII, este proceso tiene un tiempo de ejecución, que según sea el caso puede tomar entre uno a tres años dependiendo mucho del compromiso de la empresa. Cabe



indicar que siempre hay resistencia al cambio, debido a que en muchas ocasiones el personal asume que tendrá mayor carga laboral.

Tabla VIII  
DOCE PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM [10] [11].

ETAPA	PASOS
<b>I. Preparación.</b>	1. Anunciar por parte de la dirección la introducción del TPM. 2. Mentalización y educación en TPM. 3. Crear la organización promotora de TPM. 4. Establecer objetivos y metas básicas para el TPM. 5. Formular el plan maestro para desarrollo TPM.
<b>II. Implantación preliminar.</b>	6. Organizar un acto de iniciación TPM.
<b>III. Implantación TPM.</b>	7. Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo. 8. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo. 9. Desarrollar un programa de mantenimiento para el departamento de mantenimiento. 10. Dirigir entrenamiento para mejorar la operación y capacidades de mantenimiento. 11. Desarrollar programa de gestión equipos fases iniciales.
<b>IV. Estabilización.</b>	12. Implementar TPM completamente y apuntar a metas más altas.

## VI. PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA PTAP TIXÁN MÓDULO II.

Para la realización de la propuesta, se modelará en función de los pasos para organizar la implementación del TPM, conjuntamente con la aplicación del RCM, procurando mejorar la productividad de la planta aumentando la confiabilidad de las máquinas y reduciendo los costos operativos. La implementación del TPM se realiza de manera específica en un determinado equipo o piloto a través de su criticidad.

### VI-A. Anunciar por parte de la dirección la introducción del TPM.

El anuncio por parte de la directiva o personal responsable de la implementación de este modelo de gestión se puede realizar mediante reuniones programadas, dando a conocer la importancia de la implementación, y sus beneficios para mejorar la eficiencia del proceso. Se debe mantener un control de estas reuniones con el fin de que el personal involucrado logre reconocer el objetivo principal. Las actividades del TPM serán realizadas por el personal calificado para que puedan gestionarse con éxito. Esto se logra con el compromiso y aceptación de la implementación del TPM.

### VI-B. Mentalización y educación en TPM.

La segunda etapa en la implementación del TPM, es la campaña de educación, que busca no solo que sea entendida la definición del TPM, sino disminuir la resistencia al cambio por parte de los trabajadores. Muchas de las veces los trabajadores creen que se les está asignando mayor carga laboral. Adicional a ello, se genera una desconfianza por parte del personal de mantenimiento cuando los operadores realizan el trabajo. La educación del TPM debe ser asignada para reducir la resistencia y la aceptación moral, se pueden realizar: charlas, presentaciones y carteles u otras herramientas visuales, a fin de que el personal se encuentre motivado y comprometido para lograr el cambio. Durante la campaña para promover la concientización del TPM se pueden mostrar frases, insignias, carteles entre otros, para crear un ambiente positivo.

### VI-C. Crear la organización promotora de TPM.

Una vez concluida la etapa de educación y mentalización del TPM, a cargo de la alta directiva o sus designados, la implementación puede ser llevada a cabo. En este paso la estructura promocional está basada en comités, jefes responsables de cada área, grupo de equipo, y operadores de cada nivel que se pueden relacionar a través de estructuras horizontales o verticales; permitiendo así que se puedan establecer comunicaciones por medio de esta estructura. En el caso de la planta, se muestra una propuesta que puede ser implementada por la directiva para creación de la organización del TPM, considerando el organigrama funcional actualmente existente (figura 12).

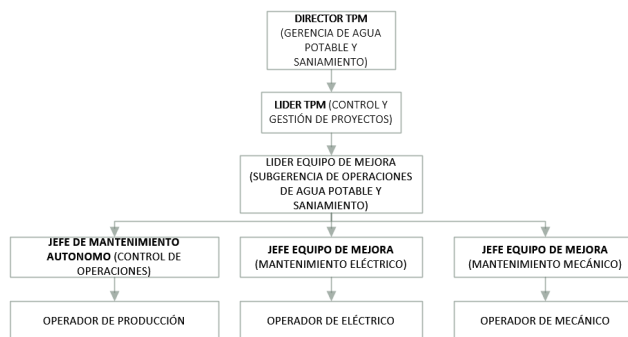


Figura 12. Estructura promocional TPM, PTAP (Tixán módulo II).

### VI-D. Establecer objetivos y metas básicas para el TPM.

Una de las partes más importantes en el desarrollo del TPM es la propuesta de objetivos y metas para la organización, que se esperan lograr en un mediano o largo plazo, ajustándose a las políticas empresariales tanto económicas como productivas. Los objetivos y metas siempre pueden alcanzarse con el apoyo de toda la organización desde los operadores, mantenedores hasta la alta directiva. Los objetivos como el disminuir las paradas de producción, aumentar el tiempo de disponibilidad

de las máquinas, aumentar la productividad, y mejorar los estándares de calidad son metas alcanzables mediante el compromiso de las partes involucradas. Este estudio cuenta con una gran ventaja: puede ser comparado con el primer módulo y así tener criterios para el establecimiento de estos objetivos. Una importante herramienta para conocer los objetivos y metas a tratar es la aplicación del RCM en los activos críticos, reduciendo así las paradas de producción al aumentar la confiabilidad de los equipos.

*VI-E. Formular el plan maestro para desarrollo TPM.*

El establecimiento de un plan piloto es la parte medular de la implementación del TPM, ya que en ella abarca etapas desde la preparación hasta el alcance de los objetivos y metas planteadas. Se formula el plan maestro sobre los elementos fundamentales como son: la mejora en el rendimiento de los equipos, el desarrollo de programas de mantenimiento autónomo, planificado, y capacitación de personal.

*VI-F. Organizar un acto de iniciación TPM.*

Conocida como el disparo o salida del TPM, es un paso crucial para la implementación y la eliminación de las seis grandes pérdidas, en esta etapa el personal debe experimentar el cambio pasando de sus rutinas diarias a empezar a implementar el TPM. Es aquí donde la directiva debe motivar al personal para incrementar el entusiasmo y empeño en la ejecución de las actividades y roles a los cuales fueron asignados. Para lograrlo debe haber una gran comprensión del personal en la etapa de iniciación.

*VI-G. Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo.*

En esta etapa el personal debe formar grupos o equipos de trabajo para la eliminación de estas seis grandes pérdidas, muchos trabajadores empezarán a notar cambios en la producción e incluso en el rendimiento de algunos sectores, del mismo modo habrán otros escépticos del cambio que el TPM pueda alcanzar. Identificando los equipos o componentes crónicos del sistema, es posible verificar la efectividad del TPM, y observar mejoras tempranas alrededor de los tres meses. Esta experiencia alcanzada se puede seguir replicando en los demás componentes de toda la planta.

*VI-H. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo.*

El desarrollo del mantenimiento autónomo es mucho más factible cuando se aplica en empresas jóvenes, es decir los operarios no tienen la idea estricta que solo el personal de mantenimiento es el encargado de realizar dichas actividades, caso contrario se crea un entorno de trabajo que busca alcanzar los objetivos y metas planteadas en la implementación del TPM. En el desarrollo del TPM los operarios deben estar conscientes de que son responsables de su propio equipo. En el caso de la PTAP Tixán Módulo II, aún no se han definido las actividades a realizar por parte del personal de mantenimiento, debido a que se encuentra en la etapa inicial de proceso de producción, por ende, es más factible que el mantenimiento autónomo sea aplicable. A continuación, se muestran los siete

pasos para aplicar el mantenimiento autónomo:

Tabla IX  
SIETE PASOS DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO [1].

1	Limpieza inicial
2	Eliminación de fuentes de contaminación y áreas inaccesibles
3	Creación de una lista de verificación para mantener los estándares de limpieza y lubricación
4	Inspección general
5	Inspección Autónoma
6	Organización y limpieza
7	Sistematicidad

En el desarrollo de la etapa limpieza inicial es importante que se tome la consideración y aplicación de las 5S. Para la implementación del TPM en la planta de agua en Tixán es prescindible escoger un área o equipo piloto. Conociendo la situación actual de la planta, esta no presenta registros de datos históricos de fallas ni tiempo entre fallas, por lo que, para realizar el análisis de criticidad se lo ha realizado en función de la experiencia de los operarios y personal de mantenimiento reflejados en el análisis de criticidad y RCM. Es importante desarrollar una auditoria del mantenimiento para conocer el avance de la implementación de la misma, como referencia se puede utilizar el análisis ya desarrollado en el presente estudio. A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de un programa de mantenimiento autónomo aplicado a sistema crítico como es el dosificador de cloro gas (figura 13).

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN PTAP (TIXÁN MÓDULO II)								
Departamento	MANTENIMIENTO							
Área	DOSIFICADOR DE CLORO GAS							
EQUIPO	TIPO MANTENIMIENTO	MÉTODOS DE REVISIÓN / HERRAMIENTAS	ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE REVISIÓN				RESPONSABLE
				MESES	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	
ADAPTADOR MONTAJE CILINDRO.	Preventivo	Calibración.	Realizar ajuste de adaptador válvula, revisar empaques, sellos y juntas para evitar fugas.		X			Ing. Mecánico
VÁLVULA CONTROL PROPORCIONAL DEL FLUIDO.	Preventivo	Calibración.	Realizar ajuste de adaptador válvula, revisar empaques, sellos y juntas para evitar fugas.		X			Ing. Mecánico
TAPÓN DE TUBO MEDIDOR	Preventivo	Limpieza.	Realizar limpieza de tubo medidor para evitar que la bola indicadora se adhiera a las paredes del tubo y que den falsos datos.			X		Ing. Mecánico
ALIMENTACIÓN EXTERNA	Preventivo	Herramientas varias.	Revisar conexiones eléctricas, cables que se encuentren en óptimas condiciones.			X		Ing. Eléctrico

Figura 13. Programa de mantenimiento autónomo dosificador de cloro gas.

*VI-I. Desarrollar un programa de mantenimiento para el departamento de mantenimiento.*

Es importante en esta etapa coordinar el mantenimiento autónomo realizado por el personal de operaciones con el personal de mantenimiento en virtud de que sean complementos de un todo. En un inicio el personal de mantenimiento empieza a tener mayor carga laboral esto se debe a que tiene que controlar que los operadores realicen las inspecciones y actividades del mantenimiento autónomo. Posteriormente en el desarrollo de la implementación del TPM al asumir las responsabilidades los operadores, el departamento de mantenimiento

se va aligerando en carga laboral, se prevé la disminución significativa de averías. En esta etapa el personal de mantenimiento debe centrarse en implementar criterios de mantenimiento para cada equipo piloto a analizar, siempre antes de que el personal operativo comience con las inspecciones. Para tener éxito en esta paso deben tener claras las actividades encomendadas para cada departamento, y estos deben complementarse y combinarse. Para el desarrollo del mantenimiento programado se ha tomado como referencia el análisis realizado previamente que corresponde al RCM, aplicando el plan de mantenimiento como lo muestra la figura 14.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN PTAP (TIXÁN MÓDULO II)								
Departamento	MANTENIMIENTO					etopa		
Área	DOSIFICADOR DE SULFATO, POLIELECTROLITO, PERMANGANATO DE POTACIO.							
EQUIPO	TIPO DE MANTENIMIENTO	MÉTODOS DE DETECCIÓN / HERRAMIENTAS	ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE REVISIÓN				RESPONSABLE
				MESES	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	
PALETA AGITADOR	Predictiva	Visual.	1. Revisar integridad de los componentes, verificar si no existe alteraciones en los motores.		X			Ing. Mecánico
	Preventiva	Lubricación.	1. Lubricar componentes que componen el agitador.		X			Ing. Mecánico
MOTOR AGITADOR	Predictiva	Medidor de calor.	Revisar que temperatura de motor no este en valores inusuales.	X				Ing. Mecánico
	Preventiva	Herramientas varias.	1. Ajustar y sellar borneros de manera adecuada. 2. Tensionar adecuadamente los correos. 3. Revisar los ejes y rodamientos cambiarlos si es necesario. 4. Comprobar tensión eléctrica y calibre de conductores. 5. Comprobar y cambiar elementos rotos. 6. Lubricar componentes de rotor y estator compatibles con el motor. 7. Revisar la instalación eléctrica.		X			Ing. Mecánico, Ing. Eléctrico.
TORNILLO SIN FIN	Preventiva	Herramientas varias.	1. Revisar si tornillo de dosificación presenta algún desperfecto. 2. Comprobar si los compuestos no presentan elementos extraños en los tocos. 3. Cambiar tornillo helicoidal.	X				Ing. Mecánico.
	Predictiva	Medidor de calor.	Revisar que temperatura de motor no este en valores inusuales.		X			Ing. Mecánico
MOTOR HP DOSIFICADOR	Preventiva	Herramientas varias.	1. Ajustar y sellar borneros de manera adecuada. 2. Tensionar adecuadamente los correos. 3. Revisar los ejes y rodamientos cambiarlos si es necesario. 4. Comprobar tensión eléctrica y calibre de conductores. 5. Comprobar y cambiar elementos rotos. 6. Lubricar componentes de rotor y estator compatibles con el motor. 7. Revisar la instalación eléctrica.		X			Ing. Mecánico
	Predictiva	Medidor de calor.	Revisar que temperatura de motor no este en valores inusuales.	X				Ing. Mecánico
PLC	Preventiva	Herramientas varias.	1. Revisar funcionamiento de PLC. 2. Verificar salida de borneros de PLC, ajustarlos si es necesario. 3. Verificar si el programa esta descargado de manera acorde al equipo.		X			Ing. Mecánico

Figura 14. Programa de mantenimiento programado dosificador de polímeros.

#### VI-J. Dirigir entrenamiento para mejorar la operación y capacidades de mantenimiento.

Esta fase de entrenamiento y educación es una gran inversión en la cual la empresa implementará capacitaciones con técnicas de mantenimiento, pudiendo operar así de manera óptima los equipos. Es aquí donde los operarios además de adquirir destrezas con su entrenamiento, deben agudizar sus capacidades operativas.

#### VI-K. Desarrollar programa de gestión equipos fases iniciales.

Muchas de las veces al poner en operación un equipo presentan muchos inconvenientes para que se ajuste su entorno operativo, experimentando paradas y contratiempos hasta que se pueda integrar. Es así como la gestión de equipo en sus fases iniciales es realizado por el personal de mantenimiento y de producción, orientado a la prevención de fallas. Desde su diseño, implementación y puesta en marcha se deben ir corrigiendo los errores que se van presentando a medida que se acopla a su funcionalidad. Posteriormente a esa fase, existe la fase de producción en donde hay un lapso para corregir ciertos errores que no pudieron ser notados en la fase de diseño y operación, siendo esta la última oportunidad para corregir

las inobservancias que se hayan omitido con anterioridad. El objetivo de corregir estos errores es con la finalidad de reducir los costos de ciclo de vida asociados a los equipos.

#### VI-L. Implementar TPM completamente y apuntar a metas más altas.

Este es el último paso para lograr la implementación del TPM, y es aquí la oportunidad para perfeccionar su posicionamiento, establecer nuevos objetivos y retos que cumplir, como el aplicarlo a las demás áreas de la organización tanto en equipos y en áreas administrativas. En este paso las compañías y empresas como las de Japón, al igual que en otros países se evalúan para conseguir el premio PM, que marca no solo un triunfo sino un comienzo en busca de la excelencia.

### VII. RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM.

Uno de los principales retos para la implementación del TPM, es en base a la ideología que tienen ciertos departamentos administrativos, operativos, y de mantenimiento debido a la objeción al cambio. Se debería cambiar el concepto de que solo los operadores deben operar y los de mantenimiento mantener, a que cada uno es responsable de la operación y mantenimiento de los equipos.

Otro de los retos para la implementación, es de que al estar en proceso de implementación no se logran resultados en ciertas áreas a corto plazo, razón de la desmotivación del personal involucrado como de los responsables de implementación del programa. El desarrollo de la implementación puede tardar en implementarse de una a tres años, y replicarse hasta los cinco años desde su implementación, pudiendo palpase los resultados en el periodo de aplicación. El éxito de la implementación del TPM, radica en el compromiso de todo el personal involucrado, siendo pilar fundamental el factor humano para conseguir con éxito su implementación.

### VIII. CONCLUSIONES.

1. Es importante mencionar que al realizar un incremento en la capacidad productiva en una industria como es el caso de la planta de tratamiento de agua potable en Tixán, debe desarrollarse también una gestión para el mantenimiento, debido a que el este y producción presentan un lazo inquebrantable para alcanzar los objetivos y metas de la organización.
2. Al realizar la auditoria del mantenimiento en la planta de Tixán, permitió conocer su situación actual, sus objetivos, políticas y responsables ejecutores del mantenimiento; además de conocer sus deficiencias, siendo el punto de partida para el desarrollo del modelo de gestión del mantenimiento.
3. En el desarrollo del análisis de criticidad en la PTAP Tixán Módulo II, se concluyó que los elementos activos reconocidos como eslabones débiles (dosificadores de polímeros, de cloro gas, y de los equipos electrógenos), son los más críticos, y que con el desperfecto de uno de ellos se puede producir paro en la producción.
4. La implementación del modelo propone involucrar a todo el personal tanto como a la directiva, operadores y mantenedores.

Tabla X  
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL TPM.

Categoría	Componente	unidad	Cant.	Precio U.	1er año	>= 2do año
<b>Capacitación</b>	Personal Involucrados TPM	personas (9u.)	1	3.200,00 USD	3.200,00 USD	
<b>Insumos de oficina</b>	Papel Bond	rezma	3	3,00 USD	9,00 USD	9,00 USD
	Impresora	u.	1	220,00 USD	220,00 USD	
	Pizarra	u.	1	80,00 USD	80,00 USD	
	Marcadores pizarra	caja (12u.)	1	9,60 USD	9,60 USD	9,60 USD
	Carteles (impresos)	u.	12	6,00 USD	72,00 USD	72,00 USD
	Computador (incluyen accesorios)	u.	1	1.200,00 USD	900,00 USD	
<b>Equipos de medición</b>	Medición de rigidez dieléctrica	u.	1	2.400,00 USD	2.200,00 USD	
	Multímetro	u.	1	80,00 USD	80,00 USD	
	Amperímetro gancho	u.	1	90,00 USD	90,00 USD	
	Pistola térmica (laser)	u.	1	120,00 USD	120,00 USD	
<b>Imprevistos</b>	Varios	u.	1	2.000,00 USD	2.000,00 USD	2.000,00 USD
<b>Subtotal 1er año</b>					<b>8.980,60 USD</b>	
<b>Subtotal a partir del 2do año</b>					<b>2.090,60 USD</b>	

Según el resultado obtenido en el análisis de criticidad y RCM, se han desarrollado planes de mantenimiento en áreas específicas donde están interviniendo los responsables de dichas áreas, y que posteriormente servirán de piloto para toda la empresa.

5. Este artículo es una propuesta de cómo realizar un modelo de gestión del mantenimiento en activos que no presentan un registro histórico de fallas, como es el caso de la PTAP Tixán Módulo II, enfatizando la importancia del conocimiento por parte de todo el personal además de las recomendaciones del fabricante para realizar políticas y programas en el mantenimiento.

6. Finalmente, el costo de implementación de mantenimiento productivo total está reflejada en el tabla X, donde se indica el costo para el primer año y los siguientes, resaltando que el costo del primer año es más elevado debido a la adquisición de nuevos equipos para realizar el monitoreo de parámetros.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Mora Gutiérrez, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, México D.F: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, 2009.
- [2] L. F. Sexto, Auditoría del Mantenimiento, class notes for MGM005, Departamento de Posgrados, Maestría en Gestión del Mantenimiento III, Universidad del Azuay, septiembre 2017.
- [3] A. Crespo Márquez, The Maintenance Management Framework Models and Methods for Complex Systems Maintenance, Springer London, 2007.
- [4] STANDARD NORSOK Z-008. 2001. Criticality analysis for maintenance purposes, Oscarsgt: Norwegian Technology Standards Institution.
- [5] SAE JA1011. 1999. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, Society for Automotive Engineers.
- [6] L. F. Sexto, «Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad - Apuntes y reflexiones,» Radical Management, p. 45, 2015.
- [7] UNE-EN 60812. 2008. Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE), Madrid: AENOR.
- [8] MIL-STD-1629A. 1974. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis..
- [9] MIL-STD-721-C. 1981. Definitions of Terms for Reliability and Maintainability.
- [10] S. Nakajima, Introduction to TPM: Total Productive Maintenance., Portland: Productivity Press, Inc., 1988.
- [11] L. F. Sexto, «Mantenimiento Productivo Total (TPM) - Apuntes y Reflexiones,» Radical Management, p. 26, 2015.