



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**PROYECTO DE GRADO  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TÍTULO DEL PROYECTO  
PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO  
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTOS DE AGUA POTABLE**

**AUTOR:  
MARCO ANTONIO QUEZADA BANCHÓN**

**MILAGRO, DICIEMBRE 2014**

**ECUADOR**

## **ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro.

### **CERTIFICO:**

Que he analizado el proyecto de tesis de grado con el título Plan para La Implementación del Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad en Plantas de Tratamientos de Agua Potable, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar al Título de Ingeniería Industrial.

El mismo que considero debe ser aceptado por reunir los requisitos legales y por la importancia del tema.

### **Presentado por el egresado:**

Ing. Marco Antonio Quezada Banchón

CI # 0911637981

### **TUTOR:**

Ing. Walter Jácome Vélez

Milagro, Diciembre 2014

## **DECLARACION DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Ing. Marco Antonio Quezada Banchón, declaro ante el Consejo Directivo de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de nuestra propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Milagro, Diciembre 2014.

Marco Antonio Quezada Banchón

CI # 0911637981

## CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

EL TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial, otorga al presente proyecto de investigación las siguientes calificaciones:

MEMORIA CIENTIFICA	(	)
DEFENSA ORAL	(	)
TOTAL	(	)
EQUIVALENTE	(	)

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

PROFESOR DELEGADO

PROFESOR SECRETARIO

## DEDICATORIA

**A Dios** por haberme dado la fortaleza y sabiduría para continuar en este camino y superar las diferentes adversidades, y más aún por brindarme esa bendición de haberme dado la vida.

**A mis padres** por brindarme todo su apoyo, su consejo día a día con sus palabras alentadoras que me reconfortaban ayudándome a seguir.  
Gracias padres por darme ese coraje para luchar y esa virtud para alcanzar logros un triunfos.

**A mi esposa *Alexandra Gutiérrez Izquierdo***, por brindarme ese apoyo constante en el trascurso de mi carrera entendiéndome cada día de ausencia por un bien, por callar en aquellos días que se convertían en noche, dejando ese tiempo de compartirlo juntos.  
Gracias por tu Amor y comprensión.

**A mis hijos *Joseph Guzmán Gutiérrez, Mathías Quezada Gutiérrez y Marco Antonio Quezada Gutiérrez***, pilar principal ya que por ellos cada sacrificio es una bendición y esa meta lograda es para ustedes, los amo.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres:

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mi esposa:

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para tí, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de tí, gracias por estar siempre a mi lado, ***Alexandra Gutiérrez Izquierdo***.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes: mis amigos

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis, en especial a mí:

Tutor: **Ing. Walter Jácome Vélez MSc.**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

**MSc. Jaime Orozco Hernández**

**Rector de la Universidad Estatal de Milagro**

**Presente.-**

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Título de Tercer Nivel, cuyo tema fue Plan para La Implementación del Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad en Plantas de Tratamientos de Agua Potable y que corresponde a la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, Diciembre 2014

Marco Antonio Quezada Banchón

## ÍNDICE GENERAL

<b>Caratula</b>	i
<b>Aceptación del Tutor</b>	ii
<b>Declaración de Autoría de la Investigación</b>	iii
<b>Certificación de a Defensa</b>	iv
<b>Dedicatoria</b>	v
<b>Agradecimiento</b>	vi
<b>Cesión de Derechos de Autor</b>	vii
<b>Índice general</b>	viii
<b>Índice de cuadros</b>	xii
<b>Índice de figuras</b>	xiv
<b>Resumen</b>	xvii
<b>Abstrac</b>	xviii
<b>Introducción</b>	xix
<b>CAPITULO I</b>	
<b>EL PROBLEMA</b>	1
1. Planteamiento del problema	1
1.1 Problematización.	1
1.1.1 causas	2
1.1.2 efectos	2
1.1.3 pronostico.	2
1.1.4 control del pronóstico.	2
1.1.5 Delimitación del problema.	3
1.1.6 Formulación del problema	3
1.1.7 Sistematización.	4
1.2 objetivos	4
1.2.1 objetivos generales	4
1.2.2 objetivos específicos.	5
1.3 justificación.	5

## **CAPITULO II**

<b>MARCO REFERENCIAL</b>	<b>7</b>
2.1 Marco teórico	7
2.1.1 Antecedentes históricos.	7
2.1.2 Antecedentes referenciales	11
2.2 Marco conceptual	12
2.2.1 Tipos de mantenimiento.	14
2.2.1.1 Mantenimiento Curativo o por avería.	15
2.2.1.2 Mantenimiento correctivo.	16
2.2.1.3 Mantenimiento mejorativo.	16
2.2.1.4 Mantenimiento preventivo planificado (MPP)	17
2.2.1.5 Mantenimiento predictivo.	19
2.2.1.5.1 Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo.	20
2.2.1.5.2 Análisis de vibración.	20
2.2.1.5.3 Análisis de lubricación.	20
2.2.1.5.4 Análisis de ultrasonido.	22
2.2.1.5.5 Radiografía industrial.	23
2.2.1.5.6 Termografía.	24
2.2.1.5.7 Balanceo Dinámico.	24
2.2.1.5.8 Estroboscopia.	25
2.2.1.5.9 Aplicaciones de las técnicas de mantenimiento predictivo.	26
2.2.1.6 Mantenimiento productivo total (TPM)	28
2.2.2 Importancia del RCM.	28
2.2.2.1 Historia del RCM:	29
2.2.2.2 Proceso de implementación del RCM.	31
2.2.2.3 Las siete Preguntas Básicas del RCM.	32
2.2.2.4 Formación del grupo natural de trabajo del RCM:	32
2.2.2.5 Conformación típica de un grupo de revisión RCM	33
2.2.3 Ciclo de mantenimiento.	35
2.2.3.1 La organización del Mantenimiento debe dar respuesta a las siguientes preguntas	35

2.2.3.2 La Planificación	36
2.2.3.3 La Ejecución	39
2.2.3.4 El Control	40
2.2.4 Fallas funcionales	40
2.2.4.1 Clasificación de las fallas.	41
2.2.5 Etapas de vida de un equipo	43
2.2.6 Modos de fallo.	45
2.2.6.1 Efectos de fallos.	46
2.3 Hipótesis y Variables	47
2.3.1 Hipótesis General	47
2.3.2 Hipótesis Particular	48
2.3.3 Declaración de las variables.	48
2.3.4 Operacionalización de las variables.	51
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MARCO METODOLOGICO</b>	53
3.1 Tipo y diseño de la investigación y su perspectiva general.	53
3.2 La Población y La Muestra.	53
3.2.1 Característica de la población.	53
3.2.2 Delimitación de la población.	54
3.2.3 Tipo de muestra	54
3.2.4 Proceso de selección.	56
3.3 Los Métodos y Técnicas.	56
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ENCUESTAS</b>	58
4.1 Análisis de la situación actual.	58
4.2 Análisis comparativo, evolución, tendencia y perspectivas	66
<b>CAPITULO V</b>	
<b>PROPUESTA</b>	67
5.1 Tema	67

5.2 Fundamentación:	67
5.3 Justificación.	68
5.4 Objetivos.	69
5.4.1 Objetivo general de la propuesta.	69
5.4.2 Objetivos específicos.	69
5.5 Ubicación.	69
5.6 Factibilidad.	71
5.7 Descripción de la propuesta.	72
5.7.1 Creación de la estructura de Desglose de trabajo.	72
5.7.1.1 Herramientas y Técnicas aplicadas.	73
5.7.1.2 Análisis de mejorabilidad.	73
5.7.1.3 Espina de pescado.	74
5.7.1.4 Análisis de modo efectos de falla y criticidad.	75
5.8 Conformación del Grupo natural de trabajo.	77
5.9 Roles y responsabilidades de cada integrante del grupo natural de trabajo.	78
6. Proceso del Sistema de Dosificación de Cloro.	80
6.1 Línea de distribución de cloro en sala de cloración.	83
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	91
Conclusiones	91
Recomendaciones	92
<b>ANEXOS</b>	93

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro # 1</b> <b>Aplicaciones de las técnicas de mantenimiento predictivo</b>	26
<b>Cuadro # 2</b> Operacionalización de las variables	51
<b>Cuadro # 3</b> <b>Tipo de muestra</b>	55
<b>Cuadro # 4</b> Formula Tipo de muestra	55
<b>Cuadro # 5</b> <b>Pregunta#1</b> ¿Sabe Ud. si en la planta existe un banco de dato de los equipos existente en tratamiento y captación?	58
<b>Cuadro # 6</b> <b>Pregunta # 2</b> ¿Sabe Ud. si en el área de mantenimiento existe información adecuada de partes y piezas de cada equipo o infraestructura (microfilm)?	59
<b>Cuadro # 7</b> <b>Pregunta # 3</b> ¿Sabía Ud. si los talleres de mantenimiento poseen bancos de pruebas para la comprobación de los equipos en mantenimiento	60
<b>Cuadro # 8</b> <b>Pregunta # 4</b> ¿Tiene conocimiento de las diferentes técnicas existente para la verificación de la optimización de sus equipos?	61
<b>Cuadro # 9</b> <b>Pregunta # 5</b> ¿Considera que es necesario programar capacitaciones experimentales para personal de mantenimiento?	62
<b>Cuadro # 10</b> <b>Pregunta # 6</b> ¿Sabe para qué es importante la capacitación?	63
<b>Cuadro # 11</b> <b>Pregunta # 7</b> ¿Conoce de qué se trata el RCM?	64

<b>Cuadro # 12</b> <b>Pregunta # 8</b> ¿Esta Ud. de acuerdo la creación de un grupo de trabajo para la implementación del RCM en la planta de tratamiento de agua?	65
<b>Cuadro # 13</b> Creación de la estructura de Desglose de trabajo	73
<b>Cuadro # 14</b> SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CLORO	74
<b>Cuadro # 15</b> HOJA DE TRABAJO	76
<b>Cuadro # 16</b> Conformación del Grupo natural de trabajo.	77
<b>Cuadro # 17</b> Responsabilidades del grupo natural de trabajo (GNT)	79
<b>Cuadro # 18</b> Proceso del Sistema de Dosificación de Cloro	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura # 1</b> Evolución del mantenimiento.	9
<b>Figura # 2</b> Estrategias de mantenimiento	11
<b>Figura # 3</b> Tipos de mantenimiento	15
<b>Figura # 4</b> Diagnóstico de análisis de vibración de bomba.	20
<b>Figura # 5</b> Diagnóstico de Análisis de aceite en caja reductora.	21
<b>Figura # 6</b> Método de ultrasonido.	23
<b>Figura # 7</b> Método de Radiografía.	23
<b>Figura # 8</b> Diagnóstico de cámara termografía	24
<b>Figura # 9</b> Balanceo Dinámico a impulsor de Bomba vertical	25
<b>Figura # 10</b> Estroboscopio	30
<b>Figura # 11</b> Flujograma para la implementación del RCM	31
<b>Figura #12</b> Conformación típica de un grupo de revisión RCM	33
<b>Figura # 13:</b> Etapas de la vida de un equipo: Curva de “La Bañera”	45
<b>Figura # 14</b> Análisis de modos efectos de los fallos	45
<b>Figura # 15</b> Metodología de tamaño de prueba no probabilístico	55

<b>Figura # 16</b>	
<b>Pregunta # 1</b>	
¿Sabe Ud. si en la planta existe un banco de dato de los equipos existente en tratamiento y captación?	58
<b>Figura # 17</b>	
<b>Pregunta # 2</b>	
¿Sabe Ud. si en el área de mantenimiento existe información adecuada de partes y piezas de cada equipo o infraestructura (microfilm)?	59
<b>Figura # 18</b>	
<b>Pregunta # 3</b>	
¿Sabía Ud. si los talleres de mantenimiento poseen bancos de pruebas para la comprobación de los equipos en mantenimiento	60
<b>Figura # 19</b>	
<b>Pregunta # 4</b>	
¿Tiene conocimiento de las diferentes técnicas existente para la verificación de la optimización de sus equipos?	61
<b>Figura # 20</b>	
<b>Pregunta # 5</b>	
¿Considera que es necesario programar capacitaciones experimentales para personal de mantenimiento?	62
<b>Figura # 21</b>	
<b>Pregunta # 6</b>	
¿Sabe para qué es importante la capacitación?	63
<b>Figura # 22</b>	
<b>Pregunta # 7</b>	
¿Conoce de qué se trata el RCM?	64
<b>FIGURA # 23</b>	
<b>Pregunta # 8</b>	
¿Esta Ud. de acuerdo la creación de un grupo de trabajo para la implementación del RCM en la planta de tratamiento de agua?	65
<b>Figura # 24</b>	
UBICACIÓN	69
<b>Figura # 25</b>	
Espina de pescado	75
<b>Figura # 26</b>	
Gabinetes	81

<b>Figura # 27</b> Suministros de Gas	82
<b>Figura # 28</b> Ensamblado de una tubería	83
<b>Figura # 29</b> Línea de distribución de cloro en sala de cloración	84
<b>Figura # 30</b> Válvulas distribuidoras para la inyección de la solución clorada	84

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**TEMA:** Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en plantas de tratamientos de agua potable.

**AUTOR:** Marco Antonio Quezada Banchón

**ASESOR:** Ing. Walter Jácome Vélez MSc.

**FECHA:** Milagro, Diciembre 2014

**RESUMEN**

Este proyecto tiene como finalidad la implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) en el sistema de dosificación de cloro de la planta nueva. Su metodología se base en la aplicación de análisis funcionales, identificación de modos fallo y criticidad, así como también la creación de un grupo natural de trabajo conformado por profesionales con amplia experiencia en el campo y alto conocimientos técnicos, a los cuales se le asignara roles y responsabilidades a fin de garantizar el éxito del proyecto.

Posteriormente para preservar el buen funcionamiento del sistema se realizaran análisis con equipos de última tecnología como alineador laser (Fituxlaser), análisis de vibración, análisis de ultrasonido y análisis de aceite, así como tareas de mantenimiento proactivo (Predictivo y preventivo) asignados a los modos de fallo y criticidad ya identificados.

**STATE UNIVERSITY OF MIRACLE  
ACADEMIC UNIT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

**TITLE:** Project for the implementation of reliability centered maintenance in treatment plants for drinking water.

**AUTHOR:** Marco Antonio Quezada Banchón  
**ADVISOR:** Ing. Walter Jácome Vélez MSc.  
**DATE:** Milagro, December 2014

**ABSTRAC**

This project is aimed at implementation of Reliability Based Maintenance (RCM) in the chlorine dosing system of the new plant. Their methodology is based on the application of functional analysis, identification of failure modes and criticality, as well as creating a natural working group comprised of professionals with extensive experience in the field and high technical expertise, to which it will be assigned roles and responsibilities to ensure project success.

Subsequently to maintain the proper functioning of the system analysis tech equipment like laser aligner (Fituxlaser), vibration analysis, ultrasound analysis and oil analysis and proactive maintenance tasks (predictive and preventive) allocated will be made to the ways failure and criticality already identified.

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento ha venido evolucionando desde hace cuatro décadas, comenzando en los años 1930-1945 en donde las industrias no estaban mecanizadas, las maquinas eran sencillas y diseñadas para un solo propósito, no existía un sistema de mantenimiento complicado, motivo por el cual no era necesario personal calificado, los periodos de paralización no eran tan importantes, solo se reparaba cuando había una avería, el mantenimiento solo era correctivo.

En los años 1945-1970 hubo muchos cambios drásticos, aumento la mecanización, la construcción de máquinas cada vez más complejas ,existía escasez de mano de obra, permanecía la idea que las fallas se podían y deberían prevenir, para lo cual expertos en mantenimiento diseñaron estrategias de mantenimiento tales como: Revisión periódica, sistemas de control y planificación del mantenimiento.

En los años 1970-1990 el desarrollo de las industrias electrónicas, aeronáuticas y espaciales alcanzaron altas velocidades para lo cual se diseñó nuevos modelos estratégicos de mantenimiento tales como el Monitoreo de condición el cual estaba basado en la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos, el estudio de riesgos, modos de fallos y causa de fallos, sistemas expertos, Polivalencia y trabajo en equipo.

En los años 1990-2012 se crearon equipos de última tecnología ecológica amigables al medio ambiente, así como también productos sintéticos que siguen ingresando al mercado a fin de reemplazar elementos solidos como el bronce, hierro, etc., de igual manera el reemplazo de aceites minerales derivados del petróleo por aceite sintéticos elaborados con aceite base altamente refinados garantizando mayor pureza y calidad, este proceso de refinación no solamente elimina

las impurezas del petróleo crudo, sino que permite que se modifiquen las moléculas individuales en los aceites para ajustarse a la demanda de los equipos modernos.

Gracias al creciente aumento de nuevas tecnologías, calidad de los productos y el aumento de presión a fin de conseguir una alta disponibilidad de los equipos ha llevado a nuevas estrategias y cambio continuo en el mantenimiento que garanticen la funcionabilidad de los equipos, seguridad y medio ambiente.

La mejora continua en el mantenimiento está cambiando, dichos cambios se deben al aumento de tecnologías, mientras más complejos son los equipos se deberán implementar nuevas técnicas y equipos para su mantenimiento.

El RCM Tiene como finalidad la detección de fallos tempranamente, la eliminación de causas de fallo antes de que suceda, la identificación de fallos, la reducción de los costos, los tiempos indisponibles del equipo reduciendo los costos de mantenimiento, mejorando la seguridad de los mismos, aumentando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos bajo la elaboración de cálculos matemáticos, aplicando las leyes de ocurrencia de fallos que nos permitan dirigirnos a una resolución del problema previniendo, estimando y optimizando los equipos reduciendo los costos operacionales y de mantenimiento.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1 PROBLEMATIZACION.**

En la actualidad a nivel mundial las empresas industriales dedicadas a la producción y comercialización de diferentes productos ya sea alimenticios o de otra índole se ven en la necesidad de implementar técnicas de mantenimiento que le permitan extender la vida útil de sus equipos en cantidades correctas en condiciones, tiempos y costos adecuados.

Hoy en día no todas las empresas industriales están preocupadas por implementar nuevos sistemas que les permitan mejorar sus procedimientos en la producción, medio ambiente y seguridad causándoles prejuicios económicos y desmejoras en la calidad de sus productos. En Ecuador, existen empresas certificadas por la calidad, seguridad y medio ambiente de sus productos ofrecidos y esto las con lleva a mejoras continuas de sus procesos para estar a la vanguardia.

En Guayaquil en la planta potabilizadora del agua potable “LA TOMA” en el departamento del mantenimiento del sistema tiene la necesidad de implementar nuevas técnicas y herramientas para contribuir al buen funcionamiento de sus máquinas y equipos, basándonos en el análisis de mejorabilidad de los equipos dosificadores de cloro realizado en el año 2013 en esta área donde nos indica el alto índice de reparación de maquinarias del sistema de dosificación de cloro ( ver Anexo 7) existe la necesidad de implementar el Mantenimiento Centrado en la

Confiabilidad RCM , estrategia que permitirá aplicar nuevas técnicas y procedimientos enfocados en la confiabilidad de los equipos optimizando de forma eficiente los procesos de producción y mantenimiento disminuyendo al máximo los posibles riesgos de personas y equipos.

### **1.1.1 CAUSAS**

- 1.- Daños continuos de los equipos e infraestructura
- 2.-. Disminución de longevidad de equipos.
- 3.- Desactualización en implementación de nuevos procesos.

### **1.1.2 EFECTOS**

- 1.-Paralización de los equipos y su producción.
- 2.- Gastos no planificados por la compra de nuevos equipos.
- 3.- Falta de equipos de última tecnología.

### **1.1.3 PRONOSTICO.**

De no implementarse nuevas técnicas y procedimientos de mantenimiento en la planta de tratamiento “La Toma” provocaría la paralización de todo el sistema de tratamiento de agua por consiguiente el desabastecimiento del agua potable en toda la ciudad de Guayaquil.

### **1.1.4 CONTROL DEL PRONÓSTICO.**

El RCM es una herramienta o técnica que nos ayudara a elaborar un plan de mantenimiento en la planta de tratamiento “La Toma” la misma que tiene varias ventajas importantes sobre todo nuevas técnicas, que nos permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos y disminuir los costos de mantenimiento, analizando las posibles fallas funcionales, desarrollando mecanismos que trataran de evitarlos. El mantenimiento

centrado en la confiabilidad (RCM) , se basa en análisis de modo fallo, tantos aquellos fallos que han de ocurrir como los fallos que se evitaran con determinadas acciones preventivas, así como aquellas que tienen ciertas probabilidades de ocurrir y que pueden tener consecuencias graves en los equipos o personal que los opera.

### **1.1.5 DELIMITACION DEL PROBLEMA.**

PAIS: ECUADOR.

PROVINCIA: Guayas

CIUDAD: Guayaquil

EMPRESA: Agua Potable y Saneamiento de Guayaquil planta “LA TOMA”

AÑO: 2014.

#### **Variable independiente.**

PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE GUAYAQUIL “LA TOMA”

#### **Variable dependiente**

GARANTIZAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

### **1.1.6 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Por qué debemos considerar la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la planta de tratamiento de agua potable “La Toma”?

### **1.1.7 SISTEMATIZACION.**

¿Qué herramientas técnicas o procedimientos se utilizan para realizar el mantenimiento de los equipos del área de dosificación de cloro de la planta de tratamiento de agua potable “LA TOMA”?

¿Qué equipos de última tecnología se está utilizando para el mantenimiento de los equipos del área de dosificación de cloro de la planta de tratamiento de agua potable “LA TOMA”?

¿Qué tipo de capacitación recibe el personal responsable del mantenimiento de las máquinas dosificadoras de cloro de la planta de tratamiento de agua potable “LA TOMA”?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVOS GENERALES**

Desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la Confiabilidad (RCM) para el sistema de dosificación de cloro para la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Guayaquil, buscando reducir costos por mantenimiento, alargar la vida útil de los equipos y garantizar la confiabilidad de los mismos dentro del entorno operacional actual.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Conformer un equipo de trabajo de alto rendimiento con la finalidad de realizar un análisis de mejorabilidad sobre cada uno de los sistemas que conforman la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil y buscar el de mayor criticidad y mejorarlo.
  
- Diseñar matriz de roles y responsabilidades que serán asignadas a cada uno de los miembros del Grupo Natural de Trabajo (GNT).
  
- Implementar una metodología de trabajo (Análisis de modo falla y criticidad) optimizando el mantenimiento del sistema de dosificación de cloro para la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

Ante este escenario, dicha propuesta busca desarrollar un plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la planta potabilizadora de agua, que optimice el mantenimiento, disminuya el tiempo de horas perdidas por falta de repuestos, mejorando la confiabilidad de la planta para minimizar paradas imprevistas que puedan provocar pérdidas a futuro

Actualmente las empresas están en búsqueda del mejoramiento de su producción así como del nivel de calidad, para ello ha sido necesario analizar de forma clara y precisa el estado actual de sus equipos, identificando los inconvenientes que existen en el proceso de

potabilización así como también en el mantenimiento de sus equipos que garanticen la confiabilidad y disponibilidad requerida, respetando los requerimientos de calidad, seguridad y medioambiente, operando bajo condiciones preestablecidas sin sufrir fallos en la operación.

Una adecuada operación y mantenimiento de los equipos, sumada a una correcta composición de los sistemas, podrá garantizar un servicio de calidad, en muchas ocasiones las empresas delegan al personal de operación se responsabilice de la funcionalidad de los equipos, trayendo como consecuencia la disminución de la vida útil, generando mayores gastos operaciones y por consiguiente un servicio ineficiente que se refleja en la calidad de agua que reciben los consumidores.

Con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema actual de la empresa en el área de dosificación de cloro se lograra reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitual hasta un 40% al 70% en comparación a los indicadores ya mencionados anteriormente; con esta técnica los resultados serán:

- Reducción de Costos para la empresa.
- Garantizará el buen funcionamiento de los equipos de dosificación de cloro.
- Satisfacer las normas de seguridad y medio ambiente.
- Incentivará la relación entre áreas.
- Mejorará la eficiencia del sistema de mantenimiento.

## CAPITULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 MARCO TEORICO

##### 2.1.1 Antecedentes Históricos.

La historia del mantenimiento está ligada con el desarrollo industrial, la misma que ha venido evolucionando a gran medida por el desarrollo tecnológico de los equipos de control y medida. La palabra mantenimiento se emplea para designar las técnicas utilizadas para asegurar el correcto y continuo uso de los equipos, maquinarias, instalaciones y servicios. Para los hombres primitivos, el hecho de afilar herramientas y armas, coser y remendar las pieles de las tiendas y vestidos, cuidar la estanqueidad de sus piraguas, etc.

Históricamente <sup>(1)</sup>, el mantenimiento ha ido evolucionando a través de tres generaciones descritas por Reliability-Centred Maintenance (1998. Figura # 1)

Primera generación: Cubre la época de la II guerra mundial, en esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los periódicos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñados para un propósito determinado, esto hacía que fueran fiables de reparar. Como resultado, no se

---

1 <http://www.soproteycia.com/articulos/rcm2/SOP-Articulos-RCM-20Nov-2009.pdf> John Moubay. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, ni un personal significativamente calificado.

Segunda generación: Durante la II Guerra Mundial ocurrieron drásticos cambios, ya que se aumentó la necesidad de productos de toda clase; mientras que la mano de obra industrial bajo de forma considerable. Esto llevo a la necesidad de aumentar la mecanización. Entre 1950 y 1960 se habían construido máquinas de todo tipo y cada vez más complejas, lo cual sugirió que las fallas de las maquinas se podían y debían prevenir, resultando el nacimiento del mantenimiento preventivo, basado en la revisión completa del equipo a intervalos fijos. Además, los costos del mantenimiento comenzaron a elevarse en relación a los costos de funcionamiento, llevando a la necesidad de implementar sistemas de control y planificación del mismo. Para lo cual se empieza a planificar en la conveniencia de reparar antes de que se produzca el desgaste o la rotura, para evitar interrupciones en el proceso productivo, con lo que surge, el concepto del mantenimiento Preventivo.

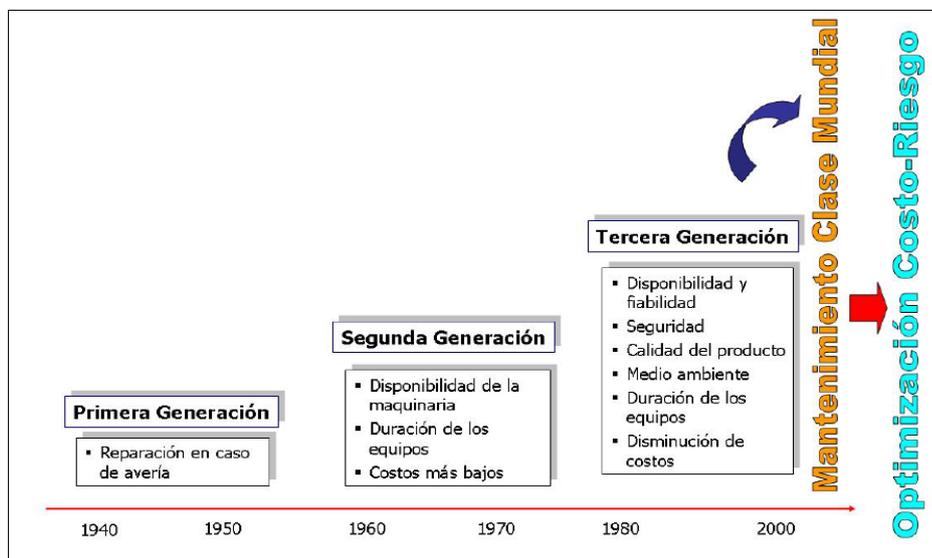
Tercera generación: A mediados de los años sesenta, el proceso de cambio en la industria había alcanzado altas velocidades con el desarrollo de las industrias electrónica, espacial y aeronáutica, aparece en el mundo anglosajón el mantenimiento Predictivo, por el cual la intervención no depende ya del tiempo de funcionamiento sino del estado o condición efectiva del equipo o sus elementos y de la fiabilidad determinada del sistema.

Actualmente el mantenimiento afronta lo que se podría denominar como su tercera generación, con la disponibilidad de equipos electrónicos de inspección y de control, sumamente fiables, para conocer el estado real de los equipos mediante mediciones periódicas o continuas de determinados parámetros: vibraciones, ruidos, temperaturas, análisis fisicoquímicos, tecnografía, ultrasonidos, endoscopia, etc., y la aplicación

al mantenimiento de sistemas de información basados en ordenadores que permiten la acumulación de experiencia empírica y el desarrollo de los sistemas de tratamientos de datos. Este desarrollo, conducirá en un futuro al mantenimiento a la utilización de los sistemas expertos y a la inteligencia artificial, con amplio campo de actuación en el diagnóstico de averías y en facilitar las actuaciones de mantenimiento en condiciones difíciles.

Por otra parte existen cambios en las políticas de mantenimiento marcados por la legislación sobre seguridad e higiene en el trabajo y por las presiones de Medio Ambiente, como dispositivos depuradores, plantas de extracción, elementos para la limitación y atenuación de ruidos y equipos de detección, control y alarma.

Se vaticina que los costes de mantenimiento sufrirán un incremento progresivo, esto induce a la fabricación de productos más fiables y de fácil mantenimiento.



**Figura # 1** Evolución del mantenimiento.

**Fuente:** Reliability-Centred maintenance (1998) Evolución del mantenimiento a nivel mundial

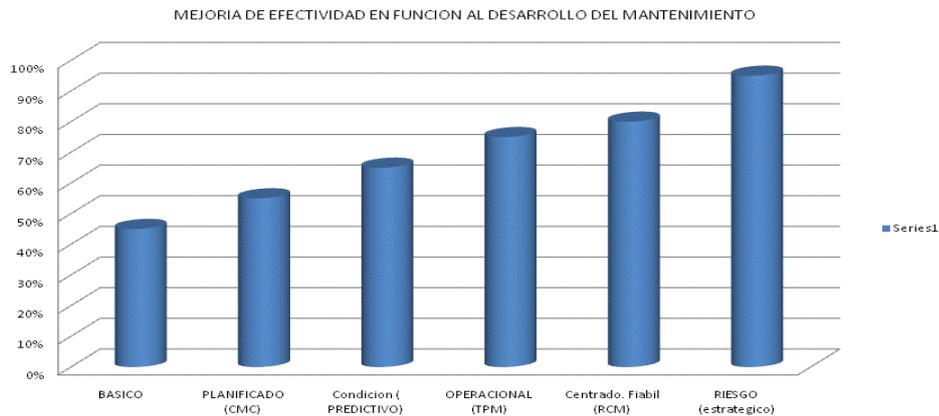
Las empresas han venido buscando el aseguramiento y el mejoramiento de sus productos en el mercado, a través de esfuerzos, acciones y decisiones orientadas a la confiabilidad del sistema y sus activos operando de manera eficiente y eficaz, logrando la satisfacción de sus clientes y usuarios, garantizando la reducción de riesgos, la minimización de incidentes ambientales, así como la reducción de costos, todo esto ha sido posible a través de un proceso de mejoramiento continuo garantizando la confiabilidad de los equipos. Para ello ha sido necesario diseñar nuevas estrategias, métodos y herramientas con tecnología de última generación. Estas nuevas tecnologías han ampliado las tareas, responsabilidades y requerimientos en cuanto a tiempo, calidad y exactitud en la ejecución y organización de las mismas <sup>(2)</sup>.

Actualmente, existen decenas de conceptos y técnicas de mantenimiento, en esa dinámica constante de mejoramiento continuo se debe buscar la herramienta o equipo más adecuada para conseguir mejoras en el mantenimiento. La elección de una técnica no apropiada para el mantenimiento puede contribuir a agudizar las dificultades de la infraestructura o equipo teniendo como resultado la disminución de la vida útil de los mismos.

Hoy en día existen distintas herramientas, metodologías o filosofía disponibles aplicables para su proceso estructurado, que nos permitan definir estrategias de mantenimiento garantizando que los activos existentes cumplan con las funciones por la cual fueron creados. (Figura#2)

---

2 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolución del mantenimiento a nivel mundial \(PEREZ, Carlos Mario, Confiabilidad y evolución del mantenimiento, http://www.soporteycia.com/.../confiabilidad/RCM-Articulo-confiabilidad-evol](http://www.soporteycia.com/.../confiabilidad/RCM-Articulo-confiabilidad-evol)



**Figura # 2 Estrategias de mantenimiento**

### **2.1.2 Antecedentes Referencial**

La referencia para el presente estudio hace hincapié del Mantenimiento basado en la Confiabilidad:

JOHN MOUBRAY, Fundador y Director General de Aladon Ltd. de Gran Bretaña, Ingeniero Mecánico, Consultor en temas de Mantenimiento Industrial, ha desarrollado y estructurado RCM 2, Reliability-centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Autor del libro RCM2 (existe una segunda edición ampliada y traducido a varios idiomas) ha organizado y preside la "Red Internacional de Licenciarios de RCM2 de ALADON Ltd." que instalan estas técnicas en centenares de industrias del mundo siguiendo rigurosamente los lineamientos didácticos y de aplicación creados hace una década por el autor para su Empresa de Consultoría Aladon Ltd y sus asociados. Indiscutiblemente uno de los expertos más prestigiosos en Mantenimiento de Confiabilidad, dicta cursos y conferencias en instituciones del ramo en todo el mundo.

NOWLAN F.S AND HEAP (1978) Relibity Centred Maintenance, el enfoque propuesto de este autor fue escrito por medio de un informe en los años 1978 donde señala que este enfoque ha sufrido con el pasar del tiempo un desarrollo ya que ha sido aplicado para elaborar programas de mantenimiento en casi todas las áreas de actividad humana, sin embargo el amplio uso indiscriminado del RCM ha conducido a la aparición de ciertos procesos que difieren significativamente de la idea original.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **Accidente**

Es todo suceso anormal, no requerido ni deseado, que se presenta en forma brusca inesperado aunque normalmente evitable, que interrumpe la normal continuidad del trabajo y puede causar lesiones a las personas.

### **Aeronáutica**

Es la disciplina que se dedica al estudio, diseño y manufactura de aparatos mecánicos.

### **Calidad**

Se refiere al conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

### **Confiabilidad de un equipo.**

La confiabilidad es una medida del Tiempo de Vida útil de un producto. Durante este período el cliente obtiene las características ofrecidas intencionalmente.

## **Diagnostico**

Examen de una cosa o un hecho o situación para buscar la solución.

## **Dosificación de cloro**

Agregar una medida especifica de solución clorada en un litro de agua.

## **Funcionabilidad**

Es la capacidad mayor o menor que tiene un equipo para servir al fin para la cual fueron creadas.

## **Industrias**

Es el conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar las materias primas en productos elaborados y semi elaborados.

## **Mantenimiento**

Procedimiento mediante el cual un determinado bien recibe tratamientos a efecto del que paso del tiempo el uso o el cambio no lo afecte.

## **Medio Ambiente**

Es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana.

## **Monitoreo de equipos**

Es una evaluación continua de una acción en desarrollo, un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores y que permite visualizar algo en una pantalla.

## **Peligro**

Propiedad o aptitud intrínseca de algo (materiales de trabajo, equipos, métodos y prácticas laborales) para ocasionar daño.

## **Prevención de accidentes**

Se denomina prevención de accidentes al conjunto de medidas que se toman tanto en forma individual como socialmente, a partir de iniciativas privadas o públicas, para impedir en la medida de lo posible que acontezcan hechos dañinos no intencionales, o disminuir los efectos dañinos de los mismos, si su ocurrencia resulta inevitable.

### **2.2.1 Tipos de mantenimiento.**

Actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir los fallos, sino que tratan de actuar antes que aparezcan los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, o sobre los que se encuentran en etapas de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento, etc.



**Figura #3** Tipos de mantenimiento

Actualmente existen varios tipos o estrategias de Mantenimiento, los cuales lo podemos agrupar dependiendo de que si se actúan antes de que suceda la falla (preventivo) o después que suceda la falla (reactivo).

### 2.2.1.1 Mantenimiento Curativo o por avería.

El mantenimiento curativo o por averías es el más común de todos los mantenimientos, tiene como finalidad corregir una avería cuando el equipo ha interrumpido su funcionamiento o cuando va a producirse una interrupción. En la época de la era industrial los operarios eran los encargados de realizar las labores de reparación y mantenimiento ya que estos eran muy sencillos y fáciles de reparar. A medida de que los equipos tecnológicos se fueron haciendo más sofisticados, estos se fueron haciendo más complejos, motivo por el cual se creó una nueva división del trabajo entre las tareas de operación y de mantenimiento.

### **2.2.1.2 Mantenimiento correctivo.**

Este mantenimiento pertenece al grupo de los mantenimientos reactivos, el cual consiste en el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo.

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconveniente, que los fallos pueden sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido a que esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. De igual manera, los fallos no detectados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiese resultado de escaso coste, puede causar daños importantes en otros elementos o accesorio conexos que se encontraban en buen estado de funcionamiento o conservación.

Otro de los inconvenientes que se presenta en el mantenimiento correctivo, es que se debe disponer de un capital importante invertido en accesorios de recambio.

### **2.2.1.3 Mantenimiento mejorativo.**

Este mantenimiento <sup>( 3 )</sup> también pertenece al grupo de los mantenimientos reactivos, consiste en la realización de mejoras en su

---

3 <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2636.pdf>

diseño con el fin no solo de reducir averías redundantes, sino también para mejorar el rendimiento de los equipos.

Este mantenimiento se diferencia del Correctivo porque los cambios que se le realizan al equipo no son por montaje o por posición de las piezas, sino que se le realiza un cambio en la estructura interna del mismo.

#### **2.2.1.4 Mantenimiento preventivo planificado (MPP)**

El mantenimiento preventivo es el ejercicio o tarea de mantener los equipos, maquinarias sujeto a un calendario regular basado en tiempos fijos o basados en horómetros. El propósito del mantenimiento preventivo es la de prevenir o evitar fallos de mantenimiento antes de que estos ocurran, siguiendo los procedimientos de rutina del mantenimiento especificado por el fabricante y los adquiridos por la experiencia.

Ventajas de un mantenimiento preventivo:

- Es fácil entendido y justificado.
- Asegura a la dirección de mantenimiento que el equipo está mantenido.
- Es previsible, se puede presupuestar, planificar y es posible el ajuste de los recursos.

Cuando se lo realiza apropiadamente, generalmente evita problemas graves, así como reduce las paradas forzadas, el mantenimiento reactivo y los costes de mantenimiento en general.



## Desventajas del mantenimiento preventivo.

- Cambios innecesarios: Al alcanzar la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambió permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de “aprovechar” para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Estamos ante el caso de una anticipación del reemplazo o cambio prematuro de los componentes.
- Problemas iniciales de operación: Cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o la regularidad de la marcha del equipo.
- Coste en inventarios: El coste en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- Mano de obra: Se necesitara contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
- Mantenimiento no efectuado: Si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se altera los períodos de intervención y se produce una degeneración en el servicio.
- Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en:
  - Definir qué partes o elementos será objeto de este mantenimiento.
  - Establecer la vida útil de lo cada uno de estos elementos.
  - Determinar los trabajos a realizar en cada caso.

A pesar de estos inconvenientes, el mantenimiento preventivo ha sido generalmente fiable en el pasado y es en la actualidad considerado como la columna vertebral de muchos programas de mantenimiento.

### **2.2.1.5 Mantenimiento predictivo.**

El mantenimiento <sup>(4)</sup> predictivo es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitoreo) de un sistema, que permiten la intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. Este mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios, evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o mediante el monitoreo, es decir, mediante la medición y verificación de los parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado.

Entre los parámetros podemos mencionar, la temperatura, presión, caudal, velocidad lineal, velocidad angular, resistencia eléctrica, ruidos, vibraciones, análisis de aceite, rigidez dieléctrica, etc. Con estos métodos tratamos de seguir la evolución de los futuros fallos.

Una de las ventajas que tiene este mantenimiento predictivo, es el de darle un seguimiento continuo al equipo y que nos permite llevar un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

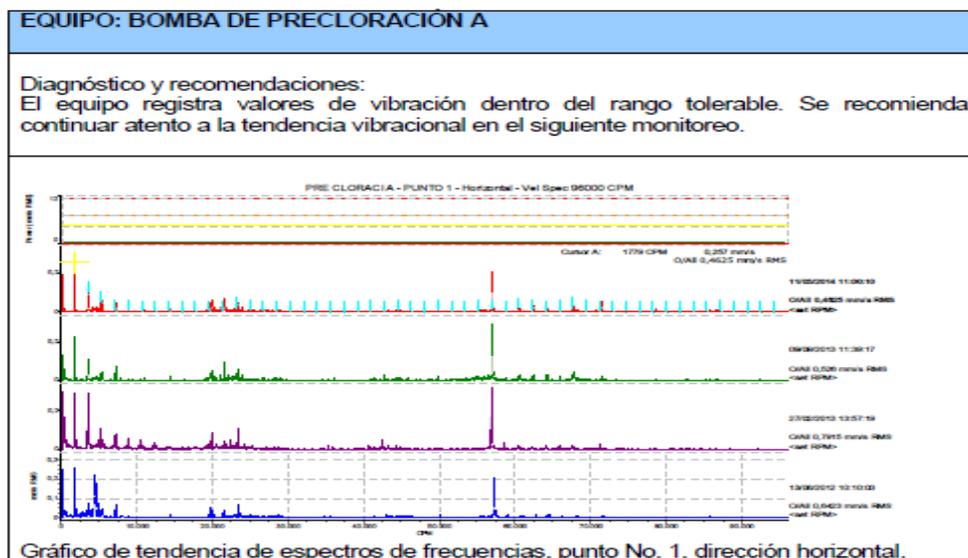
---

4 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolución del mantenimiento a nivel mundial](#)

### 2.2.1.5.1 Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo.

### 2.2.1.5.2 Análisis de vibración.

El interés de las vibraciones mecánicas llega <sup>(5)</sup> al mantenimiento industrial de la mano del mantenimiento preventivo y predictivo, con el interés de alertar que significa un elemento vibrante en una maquina o equipo, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo. La figura (4) representa un espectro de vibraciones.



**Figura # 4** Diagnostico de análisis de vibración de bomba.

### 2.2.1.5.3 Análisis de lubricación.

Este análisis se ejecuta dependiendo de la necesidad, Según:

- Análisis iniciales.- Se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del estudio de lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones operacionales.

5 <http://www.mantenimientoplanificado.com>

- Análisis rutinario.- Aplican para aquellos equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.

Datos Muestra						Solicitud N° [4941]				
Lubricante:	GITGO CLARION FOOD MACHINERY GEAR OIL 230			Condición:	Usado	Muestra #:	2			
Componente:	REDUCTOR			Marca:	No definida	Horómetro(HR/KM):	N/D			
Código:	CLARIFICADOR 3A			Tipo:	CAJA REDUCTORA	Uso Aceite(HR/KM):	4330			
Modelo:	TCV4-315-E			Per Toma Muestra:	ING. C. PAREDES	Serie:	N/D			
Fecha Toma:	15/Feb/2014			Fecha Recepción:	10/Mar/2014	Fecha Análisis:	21/Mar/2014			
Diagnóstico - 21/Mar/2014						Condición:	<b>Normal</b>			
Lubricante en condiciones aceptables para seguir en uso. Se sugiere seguir con el monitoreo periódico de las condiciones del lubricante y del equipo.										
PDV S.A. certifica que, los resultados y diagnósticos obtenidos en este reporte de análisis de esta(s) muestra(s), fueron realizados por técnicos y analistas calificados, y los equipos usados para estos análisis fueron validados siguiendo lineamientos metroológicos de la norma ISO 9000 con que estamos certificados.										
Resultado de Análisis		Histórico					Método		Límites Críticos Referenciales	
Fecha Toma	15-feb-2014	29-may-2013	31-oct-2012	31-oct-2012	30-oct-2011			Min	Max	
Fecha Análisis	21-mar-2014	11-jun-2013	14-ene-2013	13-dic-2012	22-nov-2011					
Orden #	4941	2936	2036	1958	1401					
Muestra #	2	1	0	-1	-2					
Condición	Normal	Normal	Aleria	Normal	Aleria					
Estado Lubricante										
Agua, Cracking Test	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.			Plancha Visual	-	-
Color Visual	AMARILLO CLARO	AMARILLO PAJIZO	CAFÉ	CAFÉ OSCURO	CAFÉ				-	-
TAN, mg KOH/gr	0.60	0.59	1.07	1.41	1.1			ASTM D 974	-	>1
Visc. 40°C, cSt	205.9	218.7	164.7	201.5	163.1			ASTM D 445	<176	>264
Aditivo										
Si (Silicio), ppm	-	-	-	-	6				-	-
Desgaste del Equipo										
Al (Aluminio), ppm	-	-	-	-	1				-	-
Cr (Cromo), ppm	-	-	-	-	0				-	-
Cu (Cobre), ppm	-	-	-	-	2				-	-
Fe (Hierro), ppm	-	-	-	-	18				-	-
Pb (Plomo), ppm	-	-	-	-	6				-	-

**Figura # 5** Diagnostico de Análisis de aceite en caja reductora.

- Análisis de emergencia.- Se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y o lubricante, según:
  - ✓ Contaminación con agua.
  - ✓ Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
  - ✓ Uso de un producto no adecuado.

Los equipos utilizados en este método son los siguientes:

- ✓ Bomba de extracción.
- ✓ Envase para muestreo.
- ✓ Etiqueta de identificación.
- ✓ Formatos.

Este método asegura que tendremos:

- ✓ Máxima reducción de los costos operativos
- ✓ Máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste.
- ✓ Máximo aprovechamiento en el lubricante utilizado.
- ✓ Mínima generación de efluentes.

#### **2.2.1.5.4 Análisis de ultrasonido.**

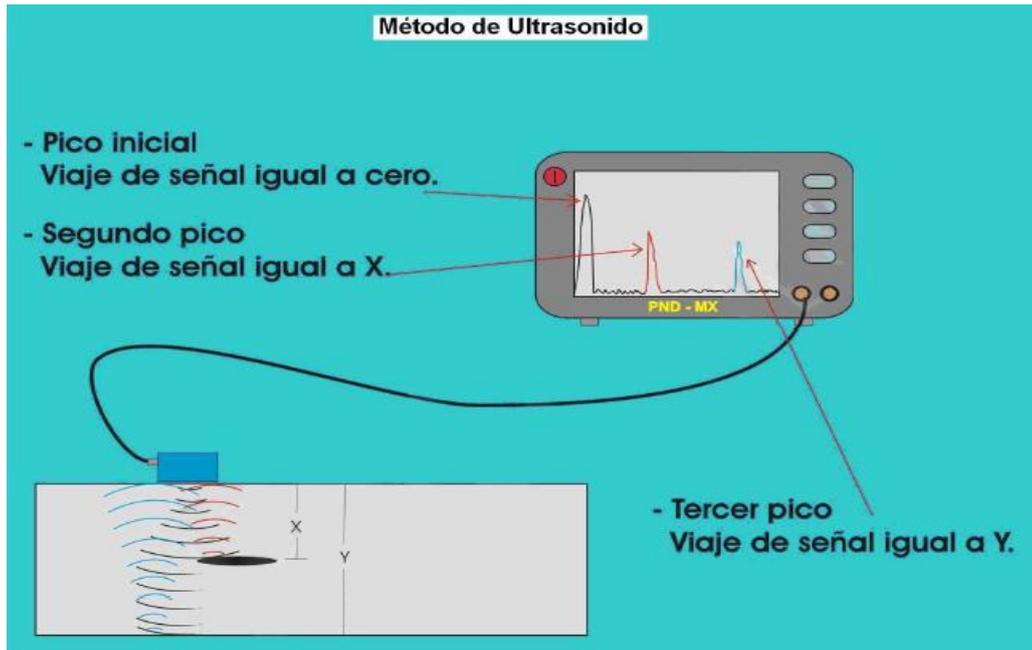
Este método estudia <sup>(6)</sup> las ondas de frecuencia por encima del límite audible humano o en exceso los 2000Hz de frecuencia. El sonido se propaga a través de ondas longitudinales a través de cualquier medio (agua, aire, vidrio, metal, etc.) producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano. (Figura # 6)

El ultrasonido permite:

- ✓ Detección de fricción en máquinas rotativas.
- ✓ Detección de fallas o fugas en válvulas.
- ✓ Detección de fugas de fluidos.
- ✓ Perdidas de vacío.
- ✓ Detección de “arco eléctrico”
- ✓ Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.

---

6 <http://www.jupesa.com.ec/web/ensayos-no-destrctivos.php>



**Figura # 6** Método de ultrasonido.

#### 2.2.1.5.5 Radiografía industrial.

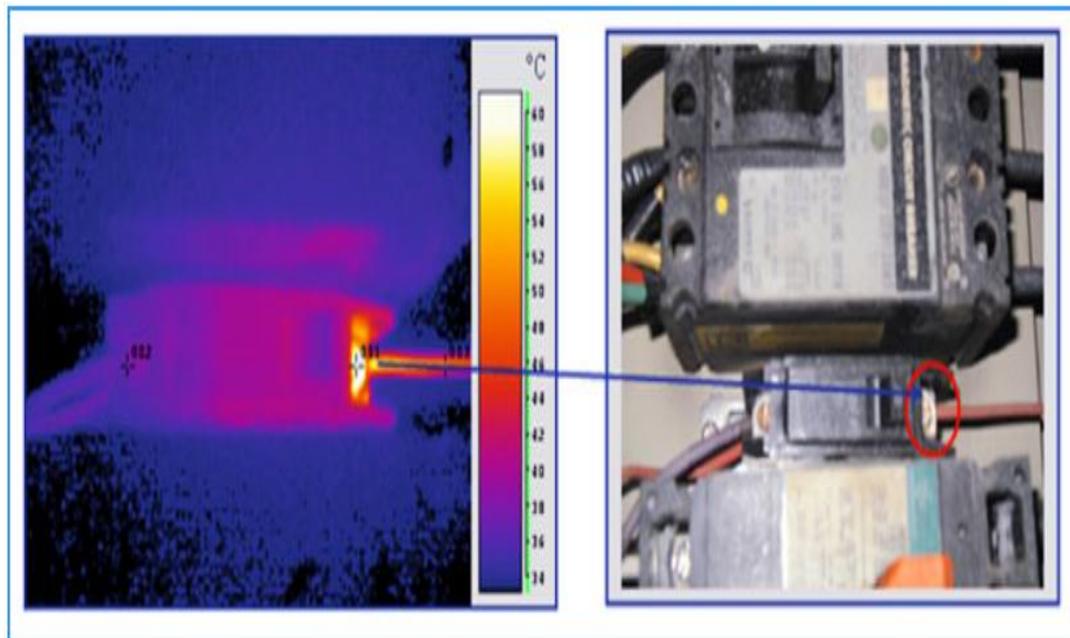
Esta técnica permite la evaluación volumétrica de los componentes, es una imagen impresa en una película magnética que previamente ha sido expuesta a una fuente de alta energía. (Figura 7)



**Figura # 7** Método de Radiografía.

### 2.2.1.5.6 Termografía.

La termografía infrarroja <sup>(7)</sup> es una técnica que permite a distancia y sin ningún contacto, el monitoreo de procesos, tales como hornos, calderos, tableros eléctricos y líneas de transmisión, etc. (Figura # 8)



**Figura # 8** Diagnostico de cámara termografía

### 2.2.1.5.7 Balanceo Dinámico.

Esta técnica <sup>( 8 )</sup> nos indica que una pieza se encuentra desbalanceada cuando su centro de masa (centro de gravedad) no coincide con su centro geométrico. Esta condición es causada por una distribución desigual del peso del rotor alrededor de su centro geométrico. Un cierto grado de desbalance en cualquier elemento rotativo podrá producir algún tipo de desequilibrio o desbalance. (Figura # 9)

---

7 [http://radiologia.foro.es.net/  
http://vibrates.net/pages/tecnico2\\_termografia.html](http://radiologia.foro.es.net/http://vibrates.net/pages/tecnico2_termografia.html)  
8 [http://vibratec.net/pages/tecnico\\_anavibra.html](http://vibratec.net/pages/tecnico_anavibra.html)



**Figura # 9** Balanceo Dinámico a impulsor de Bomba vertical

#### 2.2.1.5.8 Estroboscopia.

Es un instrumento utilizado <sup>(9)</sup> para la verificar la velocidad de giro de máquinas y motores de diversas clases sin necesidad de efectuar acoplamiento eléctrico o mecánico alguno. Su funcionamiento es comparable al de un flash eléctrico, permite ver objetos que gire u oscile como si estuviese en reposo. (Figura # 10)



**Figura # 10** Estroboscopio

---

9 [es.wikipedia.org/wiki/Estroboscopia](https://es.wikipedia.org/wiki/Estroboscopia)

### 2.2.1.5.9 Aplicaciones de las técnicas de mantenimiento predictivo.

En la cuadro se muestra las aplicaciones de las técnicas aplicadas en el mantenimiento predictivo y se determina cuáles son las fallas que detecta cada una de las técnicas

**CUADRO # 1**

<b>Técnicas</b>	<b>Aplicables</b>	<b>Fallas detectables</b>
Análisis de Vibración	Amplio rango de máquinas rotativas, cojinetes, rodamientos, bombas, ventiladores, engranajes, poleas, correas, cadenas, ejes, acoplamientos	Fala de elementos de rodamientos(pistas, rodillos, jaula)  Problema de lubricación en los cojinetes.  Engranajes dañados o gastados.
Análisis de vibración de modulado o "Stress waves"	Detección temperatura de fallas y problema de lubricación rodamientos a rodillos y engranajes en máquinas rotativas. Puede ser usado en bajas velocidades.	Fala de elementos de rodamientos(pistas, rodillos, jaula)  Problema de lubricación en los cojinetes.  Engranajes dañados o gastados.
Ultrasonido	Sistema presurizado de vacío tales como intercambiadores de calor, enfriadores, compresores de aire, válvulas, trampas de vapor, cojinetes en máquinas rotativas, interruptores eléctricos.	Perdidas de sellos juntas falladas, operación de válvula defectuosa, cavitación.  Problemas de lubricación descargas eléctricas, rajaduras, medición de espesores, corrosión.

Análisis de Lubricante	Reductores industriales, motores de combustión interna, compresores, sistemas hidráulicos, transformadores, aceite y grasa mineral-sintético	Condiciones físico-químico de aceite o grasa, contaminación del lubricante, análisis de desgaste de componentes (engranajes, rodamientos)
Termografía	Sistema de distribución eléctrico, transformador CCMs, sistemas de bajo voltaje.  Máquinas y sistemas rotativos de alta y baja revolución, poleas, motores, bombas.  Tanques, intercambiadores, calderas, chimeneas	Falta en conductores, relés e interruptores, fusibles, conexiones flojas, sobrecargas, perdidas de aislamiento
Balaceo Dinámico	Impulsores de bombas, ejes, bujes, ventiladores., rotor, poleas eje de mando de trituradoras	Desbalance en sus componentes, Falta en paleteros de ventiladores, acoplamiento gastado, correas y poleas dañadas o gastadas,
Estroboscopia	Inspección de máquinas rotativas en general, incluyendo poleas, correas, cadena y piñones, eje de mando engranajes, acoplamiento	Falta en paleteros de ventiladores, acoplamiento gastado, correas y poleas dañadas o gastadas, cadena y piñones, condiciones de escobillados en motores.

### 2.2.1.6 Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total ésta basada en la concepción japonesa del mantenimiento del “Mantenimiento de primer nivel”, en la que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento como: reglaje, inspección, sustitución de pequeñas piezas, etc. Facilitando al jefe de mantenimiento la información necesaria para lo que luego las otras tareas se puedan hacer mejor y con mayor conocimiento de causa.

Mantenimiento: Para mantener siempre las instalaciones y equipos en buen estado.

Productivo: Está enfocado en el aumento de la productividad.

Total: Implica la totalidad del personal (no solo al servicio de mantenimiento)

Este mantenimiento coloca a todos los integrantes de la organización en la tarea de ejecutar un programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los bienes.

Este programa está centrado en el factor humano de toda la compañía, para lo cual se asignan tareas de mantenimiento que deben ser realizadas en pequeños grupos, mediante la dirección motivadora.

### **2.2.2 Importancia del RCM.**

El RCM (Reliability-Centred Maintenance)<sup>(10)</sup> es un proceso usado para determinar sistemáticamente y científicamente que se debe hacer para asegurar que los bienes físicos continúen realizando lo que sus usuarios deseen que hagan.

---

10 [Reliability-Centred Maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

Ampliamente reconocido por profesionales del mantenimiento como la forma “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, el RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de la planta, la calidad del producto, seguridad e integridad ambiental.(Moubray, 2000).

El RCM pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como las características técnicas de las mismas mediante:

- Integración: De una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tomados en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Atención: Dentro de las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tengan en el funcionamiento y el desempeño de las instalaciones o equipos, garantizando que la inversión en mantenimiento se la utilice donde haya mayor beneficio.

#### **2.2.2.1 Historia del RCM:**

En la actualidad <sup>(11)</sup> es aceptado que la aviación comercial resulte ser la forma más segura para viajar. Podemos indicar con cifras que en el presente las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues.

Sin embargo al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues.

---

11 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

Si en la actualidad se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estaría calculando sobre dos accidentes aéreos diarios en algún lugar del mundo. Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950 serán causados por fallas en los equipos: Esta alta tasa de accidentabilidad, conectada con el auge de los aviones aéreos, significaba que la industria estaba obligada a empezar a hacer algo para mejorar la seguridad.

El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuese causada por fallas en los equipos significa que, al menos inicialmente, el principio enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos (Moubray 2000).

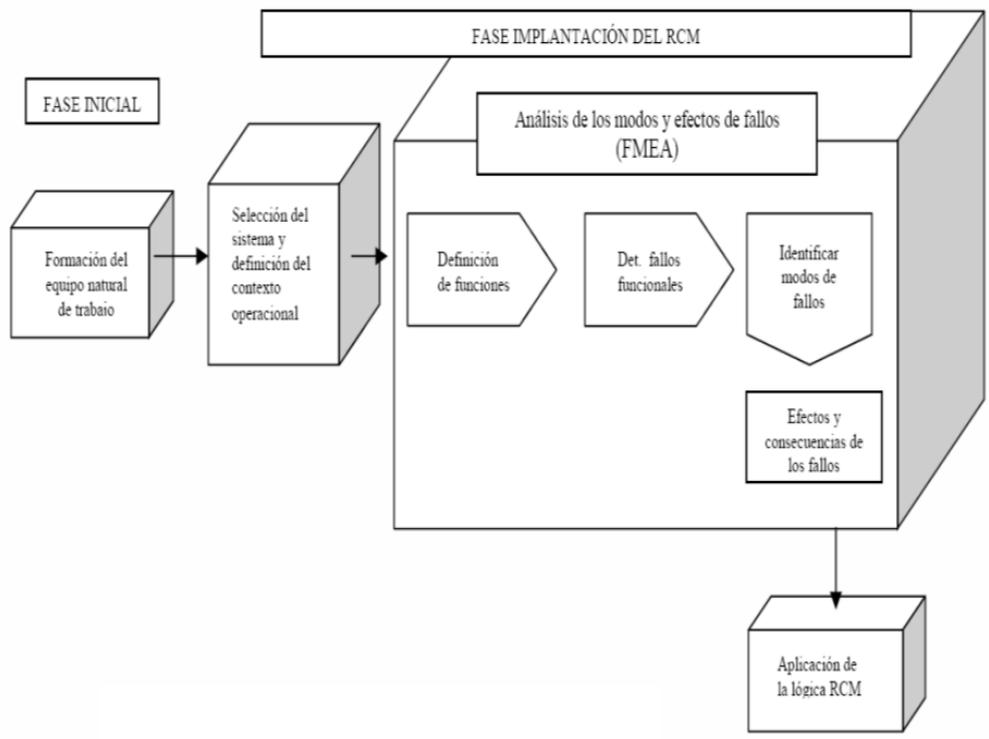
La historia sobre la optimización del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma Más segura para viajar” es la historia del RCM.

El RCM es uno de los procesos de mantenimiento desarrollado durante los años 1960s y 1970s aplicado en varias industrias con la finalidad de ayudar a los profesionales a determinar las mejoras políticas para el mejoramiento de las funciones de los bienes y equipos y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo.

El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability-Centred Maintenance” / “Mantenimiento centrado en la Confiabilidad”, dicho libro le dio el nombre al proceso de mantenimiento.

#### **2.2.2.2 Proceso de implementación del RCM.**

Antes de comenzar el análisis para la implementación del RCM <sup>(12)</sup> es fundamental conocer qué tipos de bienes o equipos existen y decidir cuáles son los que deben someterse al proceso de revisión del RCM. Esto significa que se debe realizar un registro completo de los equipos, en el caso que no existiera, aunque actualmente la mayoría de las industrias tienen ya esta clase de registro. (Figura # 11)



**Figura # 11** Flujograma para la implementación del RCM

Fase Inicial:

Formación del equipo natural del trabajo.

Fase de implementación:

---

12 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

Selección del sistema y definición del contexto operacional.

Análisis de los modos fallos (FMEA Failure Modes and Effects Analysis)

Aplicación de la lógica RCM (árbol de decisión de estrategias de mantenimiento).

### **2.2.2.3 Las siete Preguntas Básicas del RCM.**

En el proceso sistemático del RCM <sup>(13)</sup> existen siete preguntas referentes a los bienes o equipos que se intentan revisar:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al bien en su actual contexto operacional?

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

¿En qué sentido es importante cada falla?

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

### **2.2.2.4 Formación del grupo natural de trabajo del RCM:**

Para poder dar las repuestas a las 7 preguntas básicas del RCM <sup>(14)</sup>, es necesario crear un equipo natural de trabajo constituido por personas de distintas funciones dentro de la organización que sean capaces de responder entre todos dichas preguntas. En la práctica, el personal de mantenimiento no puede responder a todas las preguntas por si mismo debido a que algunas de las respuestas deben ser

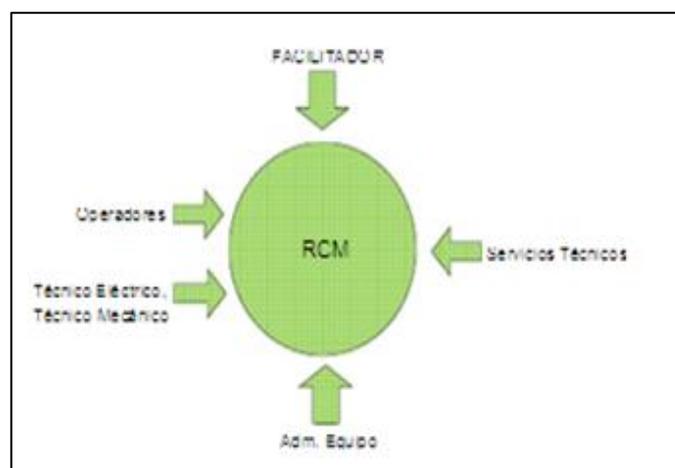
---

13 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

14 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

proporcionadas por el personal de producción u operación, sobre todo las relacionadas con el funcionamiento deseado del equipo, las consecuencias y los fallos. Por este motivo, las personas que trabajan diariamente con los equipos son una valiosa fuente de información que no hay que ignorar en el análisis mediante la metodología del RCM (Figura # 12).

#### 2.2.2.5 Conformación típica de un grupo de revisión RCM



**Figura # 12**

Dentro del equipo natural de trabajo <sup>(15)</sup> la responsabilidad del facilitador es de suma importancia, ya que su función principal será la de guiar y conducir el proceso de implementación del RCM. El facilitador deberá realizar dentro del grupo de trabajo una serie de actividades:

- Guiar al equipo de trabajo en la realización del análisis de modos y efectos de fallos (FMEA).
- Ayudar a decidir a qué nivel debe ser realizado el análisis de modos y efectos de fallos.

---

15 [Reliability-Centred maintenance \(1998\) Evolucion del mantenimiento a nivel mundial](#)

- Ayudar a identificar los bienes que deben ser analizados bajo la metodología del RCM
- Asegurar que las reuniones de trabajos sean conducidas de forma profesional y se lleve a cabo con fluidez y normalidad.
- Asegurar un verdadero consenso en las decisiones.
- Motivar al equipo de trabajo.
- Asegurar que la documentación a registrar durante el proceso de implementación sea conducida normalmente.
- Funciones y parámetros de funcionamiento.

Cada elemento que conforman el sistema de los equipos deben haberse adquirido para uno o varios propósitos de terminados. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

La función de los equipos en su contexto operacional, o sea la prioridad del equipo dentro del sistema productivo.

El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Una vez que se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad. (Moubray 2000).

### **2.2.3 Ciclo de mantenimiento.**

El ciclo de mantenimiento <sup>(16)</sup> se comprende en 4 grandes etapas:

- Organización.
- Planeación.
- Ejecución.
- Control.

Cada etapa tiene objetivos específicos, para lo cual hay que dar respuesta adecuada a las siguientes preguntas:

- 1- ¿Qué hacer?
- 2- ¿Cómo hacerlo?
- 3- ¿Cuándo hacerlo?
- 4- ¿Con quién y con qué hacerlo?
- 5- ¿Cómo marcha lo que debo hacer?

#### **2.2.3.1 La organización del Mantenimiento debe dar respuesta a las siguientes preguntas:**

- ¿Qué hacer?
- ¿Cómo hacerlo?

Para aquello la organización se debe valer de dos etapas:

Fase organizativa: En esta fase la organización debe determinar la estructura del trabajo, las funciones dentro de la estructura, las relaciones internas y externas, los procedimientos para el flujo y registro tanto de la información como la documentación.

---

16 <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2636.pdf>

Fase preparatoria: En esta fase se determina la preparación de los recursos (Materiales y humanos), documentación e instalaciones, etc.

Para aquello la organización debe contar con:

- La forma de mantenimiento a utilizar.
- Las diferentes categorías de planes referidos al mantenimiento y reparación.
- Manual de funciones.

Entre los documentos que debe tener el manual están:

- Estructura apropiada para el mantenimiento de la empresa
- Planilla de cargos de mantenimiento.
- Funciones y responsabilidades de cada cargo.

### **2.2.3.2 La Planificación, por su parte debe dar respuesta a las siguientes preguntas:**

¿Cuándo hacerlo?

¿Con qué y con quién hacerlo?

En esta etapa se determina las acciones o tareas de mantenimiento (correctivos, preventivos, predictivos, etc.) a realizar a los equipos e instalaciones, asignar los recursos necesarios (materiales y humanos) así como establecer un balance de cargas de trabajo dependiendo las capacidades del medio y el hombre para llevarlas a cabo.

Como parte indispensable del sistema de mantenimiento de la empresa, deberá establecer, mantener y actualizar un procedimiento que regule la planificación y programación de dichas actividades, elaborando un plan anual de mantenimiento de los equipos en infraestructura en

operación y auxiliar, así como los trabajos que se ejecutan por Gerencia de Proyecto para aquello se debe tener definidos los siguientes planes:

- Manual de Mantenimiento Preventivo Planificado, predictivos, proactivos por especialidades de acuerdo a horas de corrida, (horas reales de trabajo del equipo).
- Anual de inspección técnica
- Anual de Fabricación y Recuperación de Piezas de Repuesto
- Anual de reparaciones, (por parada de planta o escalonadas).
- Anual de inversiones con medios propios
- Anual de Verificación Estatal y no Estatal de medios de medición e instrumentos.
- Anual de Mantenimiento Constructivo
- De Presupuestos de Gastos.
- De reparaciones Generales o Capitalizables
- Anual de Mejoras de Mantenimiento
- De lubricación
- Mensual Operativo de Mantenimiento

El Plan anual de Mantenimiento se realiza con el propósito fundamental de prever con la suficiente antelación los trabajos a realizar, contar con presupuesto para la adquisición de equipos y repuestos así como para tener una base necesaria para la elaboración de otros planes y la previsión de los recursos humanos. Para la elaboración de un plan de mantenimiento se debe requerir de lo siguiente:

- Elaborar con carácter obligatorio el Plan Anual de Mantenimiento, en cada entidad.
- El plan Anual de Mantenimiento debe estar elaborado antes del cierre del plan de negocios.
- El Plan de Mantenimiento tiene que incluir aspectos de carácter obligatorio

- Satisfacer las necesidades del Plan de Producción.
- Las necesidades técnicas reales que presentan los equipos.
- El comportamiento de los equipos dado por las inspecciones y el diagnóstico.
- Los ciclos de Mantenimiento de los equipos.
- Las normativas técnicas, de tiempo y de recursos establecidas.
- Los volúmenes reales de trabajo necesario a realizar, tomando como base, los volúmenes típicos, las tareas incluidas en el plan de Desarrollo Técnico y de Mejoras y los criterios específicos del área de tecnología y de la Inspección Técnica.
- Las posibilidades reales de los recursos materiales, su existencia en almacén nunca deben estar por debajo del 80% antes de comenzar el Mantenimiento, y el 20 % restante, no deben ser renglones de la Ruta Crítica.
- Las acciones para eliminar las principales causas que provocan los tiempos perdidos en la producción, la baja calidad, inservible o rechazada de los productos, así como los desperdicios de materias primas, materiales y energéticos y afectación al medio ambiente, provocado por equipos defectuosos.
- Planificar y presentar las necesidades de proyectos, recursos materiales, y servicios de contratación a terceros, en la etapa prevista para estos fines
- Elaborar la programación de los trabajos preparatorios, mediante diagrama de barras, o Ruta Crítica.
- Elaborar el presupuesto de Gastos de Mantenimiento y sus trabajos preparatorios.
- Efectuar mensualmente el control de avance de los trabajos preparatorios, y un mes antes de realizar el mantenimiento, realizarlo semanalmente.
- Elaborar el informe para el chequeo diario, una vez comenzado el mantenimiento para el control del avance de los trabajos presidido por el Director o Jefe Técnico de la Entidad.

- Elaborar al concluir el mantenimiento, un informe Resumen Final que señale los trabajos ejecutados, las dificultades enfrentadas, las soluciones aplicadas y las recomendaciones con vista a la próxima reparación.

### **2.2.3.3 La Ejecución.**

En esta tercera etapa es importante recalcar los principios básicos de la ejecución:

- Precisar con claridad cada uno de los trabajos a realizar.
- Establecer las fechas de comienzo y culminación de cada trabajo.
- Confeccionar un balance de las cargas y capacidades dinámico.
- Que exista retroalimentación constante con la dirección técnica o de ingeniería.
- Necesidad de que exista una programación flexible a la cual se puedan
- incorporar los cambios que se produzcan con la operatividad del trabajo.

Para establecer la ejecución de un plan de mantenimiento debe existir como obligatoriedad:

- Al realizar los mantenimientos y reparaciones en cada área, el personal autorizado debe poseer los procedimientos y conocimientos necesarios, que contienen los instructivos y normas, documentación técnica (en forma detallada), para garantizar se ejecute en tiempo programado y con la calidad esperada
- Se cumplan los procedimientos que permitan iniciar y terminar todos los trabajos de Mantenimiento y Reparaciones de acuerdo con las reglamentaciones de Seguridad Industrial y Medio Ambiente.

- Se establezcan en forma adecuada la verificación de la certificación de la calidad de materiales, piezas de repuestos y otros recursos a emplear (período de garantía para su utilización, y fecha de vencimiento de aquellos que lo tienen establecido), así como todo lo relacionado con la norma ISO.
- Se aplique el Sistema de Control de la Calidad en las etapas de preparación, ejecución y entrega de los equipos, concluido el mantenimiento.

#### **2.2.3.4 El Control**

En esta última etapa se debe tratar de responder las siguientes preguntas:

- ¿Cómo marcha lo que debo hacer?
- ¿Cuánto esfuerzo en tiempo, recursos humanos y materiales, costó, va a costar, y pudo haber costado?

#### **2.2.4 Fallas funcionales**

En la siguiente tarea será la de identificar como puede fallar cada elemento durante su funcionamiento, lo que es conocido comúnmente como falla funcional.

El fallo funcional nos describe las diferentes formas en las cuales un sistema o subsistema puede fracasar a la hora de satisfacer los requerimientos funcionales diseñados para este equipo. Un sistema o subsistema que funciona en un estado degradado pero no afecta a ningún requisito antes mencionado se lo considera como que no ha aparecido un fallo funcional.

##### **2.2.4.1 Clasificación de las fallas.**

#### **2.2.4.1.1.- Clasificación atendiendo los fenómenos que producen la degradación y fallas, las fallas pueden ser:**

- Fallas catastróficas, que contemplan las fallas repentinas y completas, tales como la ruptura de un componente mecánico o un circuito en un sistema eléctrico. Es difícil observar la degradación y por tanto no es posible establecer procedimientos preventivos.
- Fallas por cambios en parámetros, fenómenos tales como:
  - ✓ Desgaste mecánico.
  - ✓ Fricción
  - ✓ Aumento en la resistencia de sus componentes electrónicos;la degradación es gradual y puede ser observada directa o indirectamente.

#### **2.2.4.1.2 En el contexto de la recolección de datos la falla podemos distinguir:**

- Fallas primarias.- Son el resultado de una deficiencia de un componente, cuando esta ocurre en condiciones de operación dentro del rango nominal.
- Fallas secundarias:- Son el resultado de causas secundarias en condiciones no nominales de operación, podría no haber habido falla si las condiciones hubiesen estado en el rango de diseño del componente.
- Condiciones que causan fallas secundarias: temperatura anormal, sobrepresión, sobrecarga, velocidades. Vibraciones, corriente, contaminación, corrosión.

La ocurrencia de causas secundarias no siempre conlleva a que ocurra una falla secundaria.

Las fallas secundarias pueden ser clasificadas en varias categorías:

➤ Fallas con causa común.-

En este caso la falla secundaria induce fallas en más de un componente.

Las catástrofes naturales son las causas usuales en este tipo: terremotos, inundaciones, huracanes, explosiones, fuego, etc.

Mal funcionamiento de otros sistemas o componentes también pueden inducir fallas en otros componentes.

➤ Falla propagadas.- En este caso la falla de un componente induce a la falla de otro componente. Si la falla del primer componente induce falla en más de un componente puede ser considerada como falla de causa común.

➤ Fallas por error humano.- Si las fallas son causadas por error humano en operación, mantención, inspección, Los errores humanos en la etapa de diseño, construcción e instalación de equipo, son considerados fallas por error humano y no deben ser consideradas fallas primarias. Si el error conlleva a la falla de varios componentes, también se puede hablar de falla de causa común.

Atendiendo los aspectos que una actividad productiva implica sería:

- ✓ Falas que afectan a la producción.
- ✓ Fallas que afectan a la calidad del producto.
- ✓ Fallas que comprometan la seguridad de las personas.
- ✓ Fallas que degraden el ambiente

En función de la capacidad de trabajo de la instalación.

- ✓ Averías Totales.- Son aquellas que ponen fuera de servicio a todo el equipo.
- ✓ Fallas parciales.- Este tipo de falla ponen fuera de servicio a solo una parte del equipo.

En función de la forma que aparece la falla:

- Fallas repentinas:- Este tipo de fallas aparecen sin mediar un evento que pudiera anunciar la aparición de una falla, están asociadas a roturas de piezas o componentes de la instalación antes de lo previsto o a una suma de circunstancia que no se pueden apreciar.
- Fallas progresivas.- Tienen generalmente su origen en el desgaste paulatino de algún elemento, en la abrasión, en la falta de ajuste. Este tipo de falla da muchas señales, porque antes de producirse, avisan la proximidad de una avería, y con un seguimiento se puede determinar con mucha exactitud el momento en que se produce el desperfecto.

### **2.2.5 Etapas de vida de un equipo**

Para poder determinar las etapas de vida de un equipo, se utiliza el análisis de WEIBULL. La distribución de fallos de weibull es una herramienta importante para mejorar la fiabilidad. En la figura (13) representa la curva de la bañera. Esta distribución modela la distribución

de fallo (en sistema) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

- ✓ Un valor  $K < 1$  indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.
- ✓ Cuando  $K=1$  la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- ✓ Un valor  $K > 1$  indica que la tasa de fallos crece en el tiempo.

De acuerdo a la distribución de fallas, la vida de un equipo se puede dividir en las siguientes etapas, las cuales se representan en un gráfico denominado curva de la bañera:

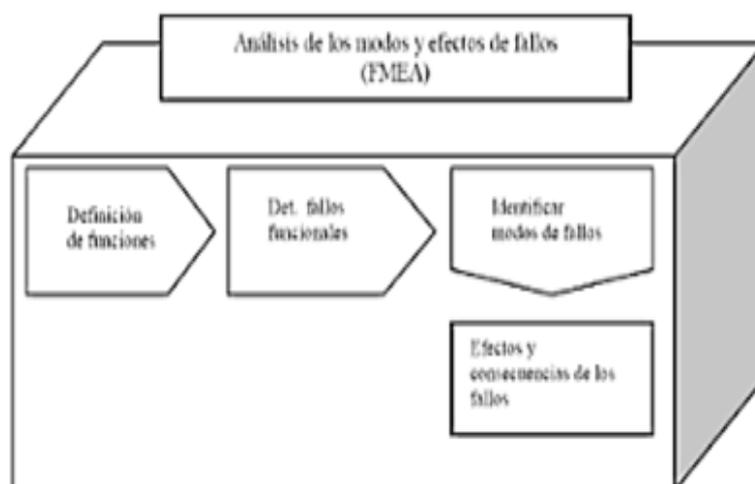
- Fallos iniciales.-Esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallo que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- Fallos normales.- Etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.
- Fallos por desgaste.- Etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.



**Figura # 13** Etapas de la vida de un equipo: Curva de “La Bañera”

### 2.2.6 Modos de fallo.

El análisis de modo de fallo (FMEA Failures Modes Effects Analysis) es la herramienta principal del RCM para optimizar la gestión de mantenimiento ya que nos ayuda a responder las cinco preguntas básicas del RCM (Woodhouse, 1996). El FMEA es un método sistemático que nos permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional. Figura (14)



**Figura # 14** Análisis de modos efectos de los fallos

### 2.2.6.1 Efectos de fallos.

Para el análisis de los efectos de fallos el RCM enfatiza enlistar los efectos de cada fallo, que describan lo que ocurre con cada modo de fallo.

Para la descripción de los efectos de fallo se ha diseñado una guía de preguntas que permiten simplificar la evaluación de las consecuencias de los efectos de fallo

- ¿Qué evidencia hay que ocurrió el fallo?
- ¿De qué manera afecta a la seguridad y al medio ambiente?
- ¿De qué manera afecta la producción o las operaciones?
- ¿Cuáles son los efectos operacionales?
- ¿Es necesario parar el proceso?
- ¿Hay impacto en la calidad?
- ¿Se produce daños a otros sistemas?
- ¿Qué tiempo se requiere para reparar el fallo (acciones correctivas)?
- ¿Cuánto es la pérdida económica por el fallo (coste directos, impacto en la producción, coste de seguridad y ambiente, etc.)?

Consecuencias de fallo.

El RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- **Consecuencias Operacionales:** Un fallo tiene como consecuencias operacionales si afecta la producción (Calidad del producto, capacidad, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugieren cuanto se necesita gastar para tratar de prevenirlas.

- Consecuencias no operacionales: Las fallas evidentes que entran dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto de dinero es el de la reparación.

Consecuencias de las fallas no evidentes: Las fallas que no son evidentes no tienen un impacto directo, pero expone a la organización a otras fallas con consecuencias catastróficas. El RCM le otorga una prioridad muy alta a este tipo de consecuencias y adopta un acceso simple, práctico y coherente en relación con su mantenimiento.

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Un fallo tiene consecuencia sobre la seguridad si puede afectar físicamente a algo.
- Tiene consecuencias sobre el medio sin infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.

## **2.3 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.3.1 Hipótesis General**

La implementación del RCM junto con la creación de un departamento de mantenimiento predictivo conformado por un grupo de trabajadores de alto conocimiento en equipos para el tratamiento de agua potable nos garantizara la confiabilidad de cada uno de estos, para lo cual se programaría un plan de mantenimiento proactivo a cada uno de los equipos e infraestructura de dicha planta teniendo como objetivo principal:

- Evitar, reducir los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar.

- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir los costes.
- Reducir el número de fallas.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los equipos.

### **2.3.2 Hipótesis Particular**

- Crear un departamento de mantenimiento predictivo conformado con personal técnico con experiencia en equipos para el tratamiento de agua potable, el cual apoyara significativamente al departamento de producción a direccionar los requerimientos de trabajos.
- Diseñar un organigrama para definir los niveles jerárquicos, roles y responsabilidades que sean asignadas a cada uno de los miembros del grupo (GT) y establecer un instructivo de funciones.
- Elaborar un instructivo RCM para la implementación de nuevas metodologías de trabajo, basadas en la confiabilidad y eficiencia de los equipos.

### **2.3.3 Declaración de las variables.**

**Hipótesis General:**

**Variable Independiente:**

- Implementación del RCM en la planta de tratamiento.

**Variable Dependiente 1:**

- Prolongar la vida útil de los equipos la vida útil.

**Variable Dependiente 2:**

- Disminuir la gravedad de los fallos.

**Variable Dependiente 3:**

- Evitar accidentes.

**Variable Dependiente 4:**

- Reducir daños en los equipos.

**Variable Dependiente 5:**

- Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.

**Variable Dependiente 6:**

- Rentabilidad

**Hipótesis Particulares:**

**Numero 1**

**Variable Independiente**

- Creación de un departamento de mantenimiento predictivo conformado con personal técnico con experiencia en equipos para el tratamiento de agua potable, el cual apoyara significativamente al departamento de producción a direccionar los requerimientos de trabajos

**Variable Dependiente:**

- Direccionar en forma adecuada y oportuna las solicitudes de trabajo.

**Numero 2**

**Variable Independiente**

- Implementación del RCM en la planta de tratamiento de agua

**Variable Dependiente:**

- Innovación de equipos última tecnología

**Numero 3**

**Variable Independiente:**

- Equipos de última tecnología

**Variable Dependiente:**

- Capacitar al personal técnico de mantenimiento.

#### **Numero 4**

##### **Variable independiente:**

- Capacitación experimental

##### **Variable Dependiente:**

La detección de futuras fallas en el equipo de los equipos.

#### **Numero 5**

##### **Variable Independiente:**

- Instructivo de trabajo

##### **Variable Dependiente:**

- Actividades que debe realizar cada miembro que conforman el grupo de trabajo.

### **2.3.4 Operacionalización de las variables.**

**Cuadro # 2**

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>
Implementación del RCM	Variable independiente	Base de datos de empresas que implementan el RCM en Ecuador
Prolongar vida útil	Variable	# años de longevidad

De los equipos	Dependiente	
Disminuir Fallos	Variable Dependiente	# de fallos al año
Evitar accidentes	Variable Dependiente	# de accidentes al año
Reducir daños	Variable Dependiente	# de daños al año
Evitar paradas del equipo	Variable Dependiente	# de paradas no programadas
Rentabilidad	Variable Dependiente	TIR(tasa interna activa)
Creación Departamento mantenimiento Proactivo	Variable Independiente	Población económicamente activa
Innovación de equipos de última tecnología	Variable independiente	# de activos fijos en la empresa
Capacitación	Variable Dependiente	% de formación de los técnicos
Funcionamiento de los equipos	Variable Dependiente	# de horas trabajadas
Actividades de trabajo	Variable Dependiente	# de actividades en el día
Detección de fallas en los equipos	VARIABLE DEPENDIENTE	% de criticidad en el equipo

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **3.1 Tipo y diseño de la investigación y su perspectiva general.**

En este proyecto aplicaremos el modelo de investigación teórica de campo, la misma que está orientada hacia aspectos técnicos y funcionamiento de los equipos, este modelo de investigación es no experimental transaccional descriptivo, explicativo, debido a que el suceso a estudiar no sufrirá ninguna manipulación y por consiguiente no afectara a las variables dependientes e independientes, por lo contrario beneficiara al área de mantenimiento a través de la compra de equipos de última tecnología así como la capacitación experimental de cada uno de sus integrantes a fin de garantizar un análisis completo de cada una de las funciones de los equipos e infraestructura de la planta de tratamiento.

#### **3.2 La población y la muestra.**

##### **3.2.1 Característica de la población.**

La población es todo el personal que labora en la planta de toma, la misma que se dedica a la captación del agua del río Daule por medio de bombas verticales u horizontales y la trasladan por tubería de impulsión hasta la planta de tratamiento por donde pasan varios procesos entre los cuales tenemos la pre oxidación, coagulación, decantación, filtración, neutralización, desinfección final para luego enviarla por tuberías de distribución hasta el consumidor final.

### **3.2.2 Delimitación de la población.**

La presente investigación se llevara a cabo en la planta de agua potable de Guayaquil “La Toma” la cual está ubicada en el Kilómetro 27vía a Daule.

En la planta de bombeo y tratamiento laboran 204 trabajadores, de la cual está dividida en estación de captación y bombeo en donde laboran 18 administrativos, en la planta de tratamiento del agua laboran 71 trabajadores de campo, en turnos rotativos laboran 92 colaboradores y en el área de mantenimiento de las infraestructuras y equipos laboran 23 técnicos.

### **3.2.3 Tipo de muestra.**

Para este muestreo utilizaremos el modelo no probabilístico, por lo que a nuestro criterio el personal que labora en la planta de agua potable de Guayaquil están muy consciente de la deficiencia existe con respecto a conocimientos técnicos por parte del personal que genera requerimientos de trabajo sin la debida explicación técnica de lo que le pudo haber sucedido al equipo antes de su paralización, adicional existe una falencia en la información técnica de los equipos en funcionamiento.

Para lo cual se está sugiriendo que estas órdenes de trabajo sean generadas por un personal técnico que indique a ciencia cierta cuál fue el motivo por la cual un equipo se paró o fallo.

Para lo cual utilizaremos un mundo que comprenden los 204 trabajadores de la planta la “La Toma” marginando el 5% del error admisible al 95% de confiabilidad.

**Cuadro # 3<sup>(17)</sup>**

Para $3 \leq N \leq 10$	Se asume $\epsilon=0,1$ (Un error del 10%)
Para $N \leq 10$	Se asume $\epsilon=0,05$ (Un error del 5%)
Para $3 \leq N \leq 19$	Se asume $q=0,001$ (Un 1%)
Para $20 \leq N \leq 29$	Se asume $q=0,01-0,02$ (del 1 al 2%)
Para $30 \leq N \leq 79$	Se asume $q=0,02-0,05$ (del 2 al 5%)
Para $80 \leq N \leq 159$	Se asume $q=0,05-0,10$ (del 5 al 10%)
Para $N \geq 160$	Se asume $q=0,05-0,20$ (del 5 al 20%)

**Cuadro # 4**

$$n_0 = \left( \frac{z}{\epsilon} \right)^2 * p * q$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

$$n^\circ = \left( \frac{1,96}{0,05} \right)^2 * 0,95 * 0,05 =$$

$$n^\circ = (39,2)^2 * 0,95 * 0,05 =$$

$$n^\circ = 72,99 \text{ R//}$$

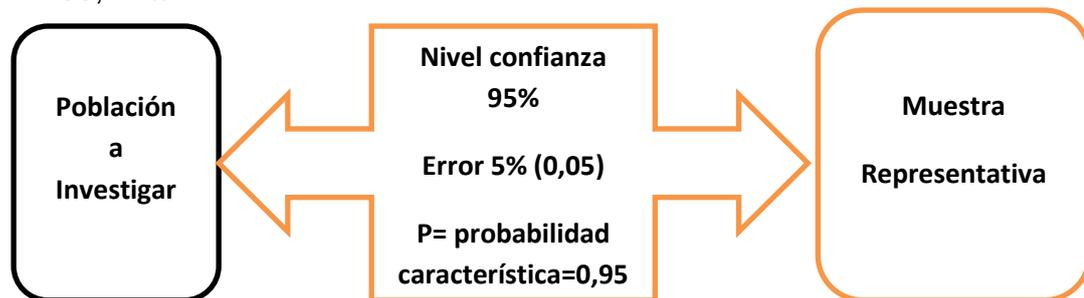
$$n = \frac{n^\circ}{1 + \frac{n^\circ}{N}}$$

$$n = \frac{72,99}{1 + \frac{72,99}{204}}$$

$$n = 53,7 \text{ R//}$$

$$1 + \frac{72,99}{204}$$

$$N = 53,7 \text{ R//}$$



**Figura # 15** Metodología de tamaño de prueba no probabilístico

<sup>17</sup> Cuadro # 3-4 [www.mongrafias.com/trabajos42/selección-muestra/selección-muestra2.shtml](http://www.mongrafias.com/trabajos42/selección-muestra/selección-muestra2.shtml)

Acorde a la resolución de la fórmula aplicada, se ha determinado que la muestra a la que debemos entrevistar para la investigación es de 54.

#### **3.2.4 Proceso de selección.**

Para conocer las necesidades existen con respecto al funcionamiento y optimización de las infraestructuras y equipos de la planta de tratamiento se aplicara técnicas de encuestas las mismas que serán aplicadas a la población muestra, las cuales serán seleccionadas acorde con el siguiente criterio:

- ✓ Subgerente de planta.
- ✓ Jefe Departamental.
- ✓ Jefe de sección.
- ✓ Supervisores de tratamiento.
- ✓ Personal técnico de mantenimiento.
- ✓ Operadores de tratamiento.

#### **3.3 LOS METODOS Y TECNICAS.**

Para realizar este trabajo investigativo utilizaremos diferentes métodos entre las cuales podremos mencionar la documental, transversal descriptiva, explicativa.

Para este tipo de investigación utilizaremos diferentes técnicas que especificaremos a continuación:

##### **Observación directa.**

Esta técnica se la utilizara directamente en el área de producción y mantenimiento donde podremos observar las condiciones en que trabajan

los equipos, así como también observaremos la metodología de trabajo en el área de mantenimiento con respecto al mantenimiento preventivo existente.

### **Investigación documental.-**

Esta técnica se utilizara con la finalidad de determinar si se posee documentos relacionados a la problemática a investigar, a fin de no duplicar esfuerzo en lo referente a la documentación de los equipos, partes y piezas.

### **Inductivo y deductivo.-**

Esta técnica a aplicar nos servirá para observar las técnicas, métodos o procedimientos que utilizan el personal de mantenimiento para garantizar el funcionamiento los equipos, la cual nos conducirá a la extracción de información que nos permitirá llegar a conclusiones para la deducción de cursos de capacitación complementarios que nos garantice el mejoramiento continuo de sus habilidades, pasando de lo complejo a lo sencillo.

### **Síntesis.-**

Esta técnica servirá para la elaboración de una síntesis lógica direccionada a un cambio que pueda producirse. Generando de esta manera nuevas estrategias y procedimientos.

### **Estadístico.-**

Esta técnica nos llevara a registrar, procesar y tabular los datos obtenidos a través de las encuestas a fin de obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.



## CAPITULO IV

### 4.1 ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL.

#### Encuesta

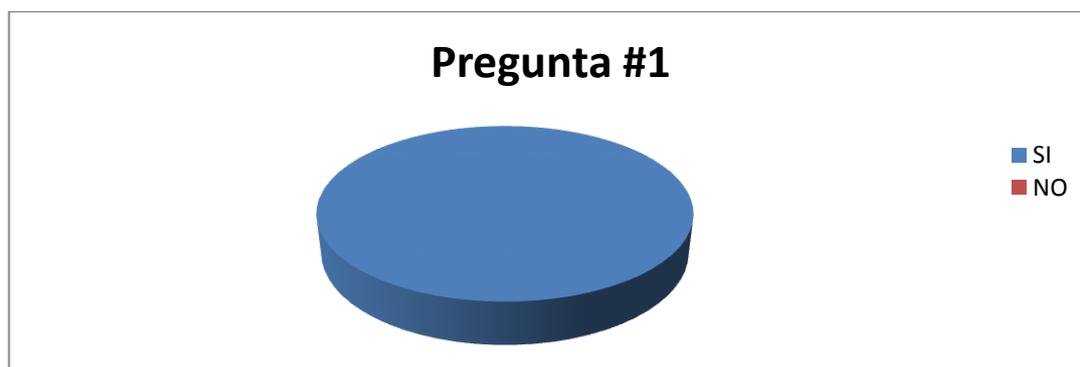
#### Pregunta # 1

¿Sabe Ud. si en la planta existe un banco de dato de los equipos existente en tratamiento y captación?

#### Cuadro # 5

Opción	Frecuencia	Porcentaje
SI	54	100%
NO	0	0%

#### Figura # 16



#### Análisis:

El 100% de los encuestados indican que si tiene conocimiento que existe en la planta de tratamiento una biblioteca en donde se archiva toda la documentación relacionadas a las instalaciones, infraestructura y equipos.

#### Interpretación:

La planta de tratamiento de agua potable está compuesta por 1250 infraestructura motivo por el cual es importante archivar toda la información en una base de datos o biblioteca.

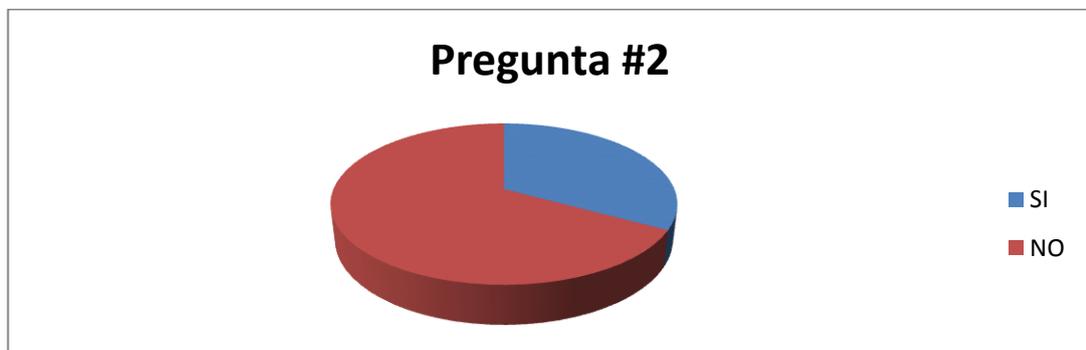
## Pregunta # 2

¿Sabe Ud. si en el área de mantenimiento existe información adecuada de partes y piezas de cada equipo o infraestructura (microfilm)?

## Cuadro # 6

OPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	18	33%
NO	36	67%

Figura # 17



## Análisis:

Un 33% de los encuestados indicaron que si se posee información de partes y piezas que conforman sus equipos, el 67% indica que no existe un adecuado almacenamiento de la información de las partes, piezas y dimensiones de los accesorios que conforman los equipos.

## Interpretación:

No existe una metodología adecuada y minuciosa de las partes de los equipos, se recomienda llevar un registro minucioso de las partes, dimensiones, longitudes, numeraciones que garanticen un stop de repuestos, para lo cual es importante archivar dicha información en microfilm, la cual tiene como ventaja el ahorro sustancial de las informaciones, así como también un acceso y localización rápida y consulta ágil.

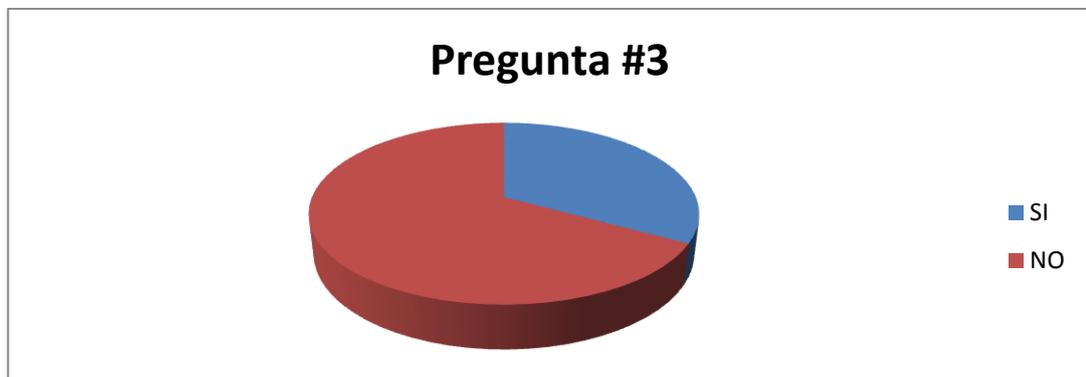
### Pregunta # 3

¿Sabía Ud. si los talleres de mantenimiento poseen bancos de pruebas para la comprobación de los equipos en mantenimiento?

### Cuadro # 7

OPCION	REFERENCIA	PORCENTAJE
SI	18	33%
NO	36	67%

### Figura # 18



### Análisis:

El 33% de las encuestas realizadas indican que en ciertas áreas existen bancos de pruebas que garantizan la optimización de los equipos. El 67% desconocía que existe en diferentes áreas bancos de pruebas.

### Interpretación:

La falta de información o desconocimiento por parte de ciertos colaboradores hace pensar que el mantenimiento que realizan los técnicos es de forma empírica o subjetiva. Se recomienda la implementación de nuevos bancos de pruebas que garanticen la confiabilidad y la optimización de los equipos reparados.

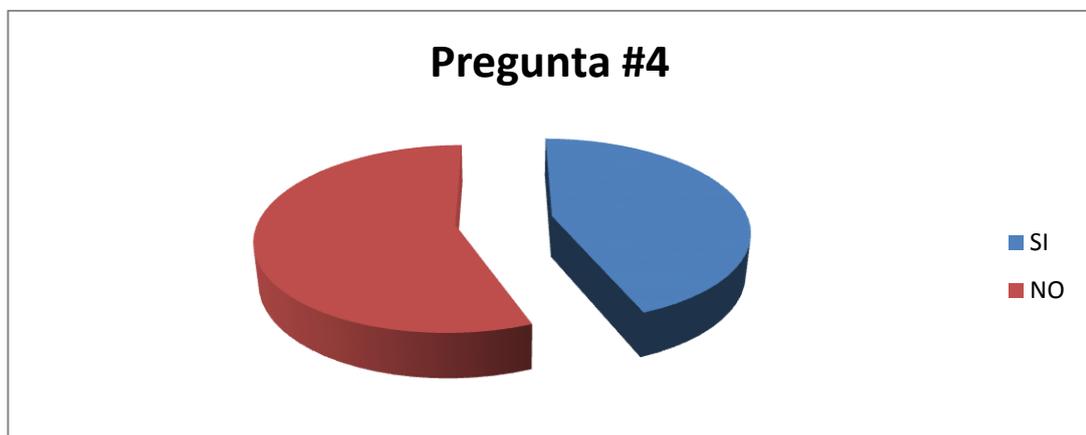
#### Pregunta # 4

¿Tiene conocimiento de las diferentes técnicas existente para la verificación de la optimización de sus equipos?

#### Cuadro # 8

OPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	24	44%
NO	30	56%

#### Figura # 19



#### Análisis:

El 44% de las encuestas realizadas indicaron que si tienen conocimientos de las diferentes técnicas que se utilizan para el mejoramiento continuo y la optimización de los equipos. El 56% de los encuestados indicaron que desconocen de estos tipos de técnicas.

#### Interpretación:

Existe un porcentaje alto de desconocimiento sobre las mejoras continuas existente en el mercado laboral, se recomienda una retroalimentación, charlas o seminarios que ayuda a la obtención de nuevas oportunidades de mejora.

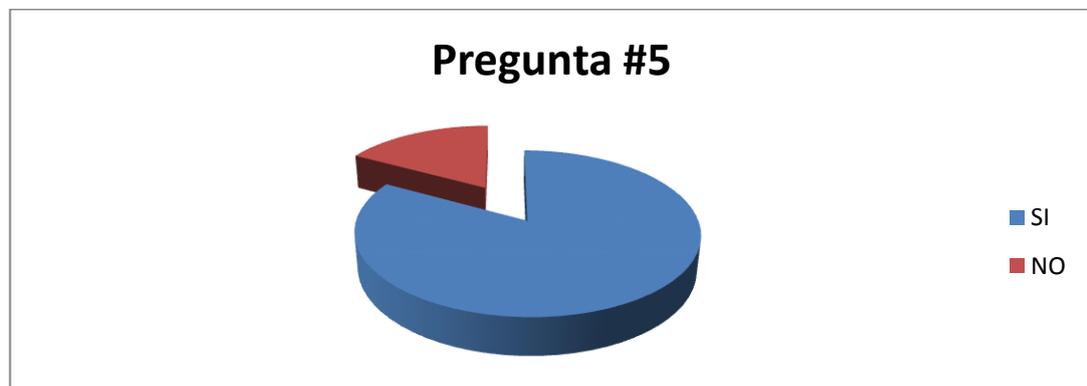
### Pregunta # 5

¿Considera que es necesario programar capacitaciones experimentales para personal de mantenimiento?

**Cuadro # 9**

OPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	45	83%
NO	9	17%

**Figura # 20**



#### **Análisis:**

El 83% de los encuestados indicaron que es necesaria la capacitación experimental a fin de desarrollar técnicas apropiadas a las circunstancias locales, transfiriendo información técnica de manera ágil y eficiente, el 17% de los encuestados indican que no es necesaria la capacitación experimental debido a que no existe empresa de capacitación en el medio con estos perfiles.

#### **Interpretación:**

Un porcentaje alto de los encuestados indican que es necesaria la capacitación experimental debido a las diferentes falencias existentes por parte de los colaboradores de la institución, la cual garantizara desarrollar nuevas técnicas y procedimientos.

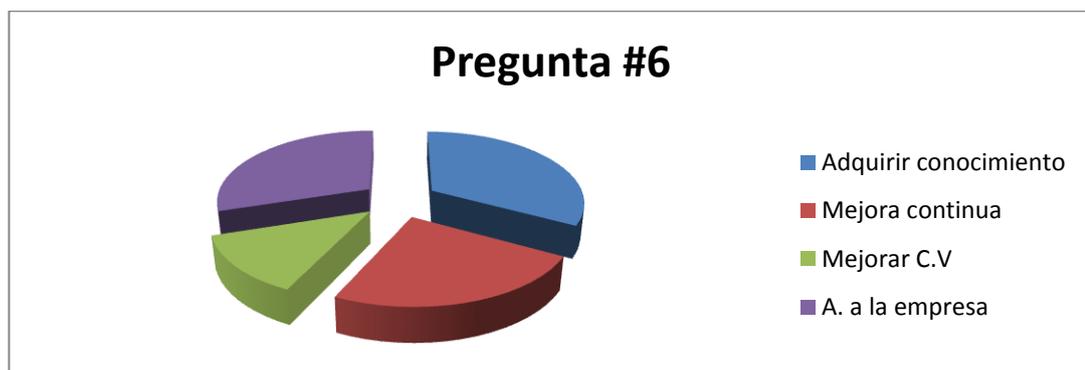
### Pregunta # 6

¿Sabe para qué es importante la capacitación?

**Cuadro # 10**

OPCION	REFERENCIA	PORCENTAJE
Adquirir conocimientos	18	33%
Mejora continua	13	24%
Mejorar el C.V	7	13%
Aplicarlo a la empresa	16	30%

**Figura # 21**



#### **Análisis:**

El 33% de los encuestados indicaron que la capacitación es necesario para adquirir conocimientos, el 24% mejora continua, el 13% Mejorar la hoja de vida y el 30% indico que la capacitación es necesario para aplicarlo en la planta de tratamiento.

#### **Interpretación:**

Los colaboradores encuestados sensibles antes las necesidades, reconocen que la actualización de conocimientos les ofrece ventajas competitivas dentro de la institución.

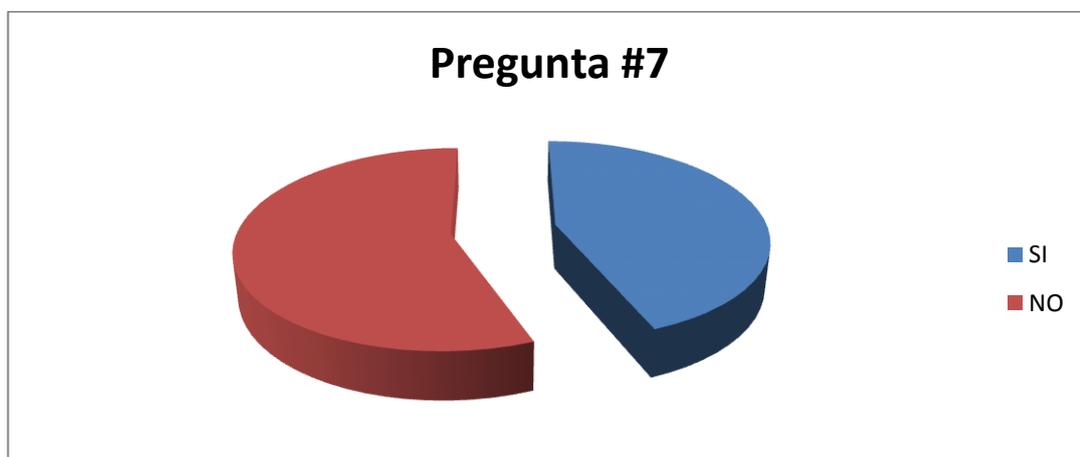
### Pregunta # 7

¿Conoce de qué se trata el RCM?

Cuadro # 11

OPCION	REFERENCIA	PORCENTAJE
SI	24	44%
NO	30	56%

Figura # 22



#### Análisis:

El 44% de los encuestados indican que tienen conocimiento sobre el RCM (mantenimiento basado en la confiabilidad), el 56% desconoce de qué se trata esta metodología.

#### Interpretación:

Un bajo porcentaje de los entrevistados indican que tienen base fundamentado sobre el proceso a seguir para la aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad y sugieren que es necesaria la adquisición de nuevas herramienta para su implementación en la planta de tratamiento.

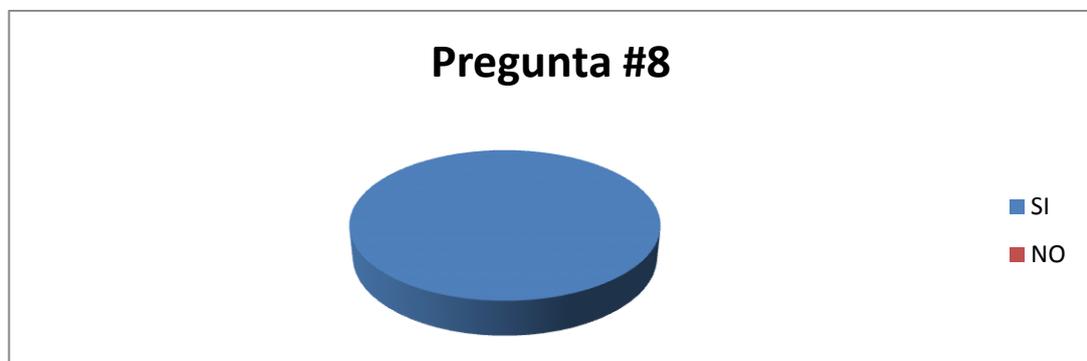
### Pregunta # 8

¿Esta Ud. de acuerdo la creación de un grupo de trabajo para la implementación del RCM en la planta de tratamiento de agua?

### Cuadro # 12

OPCION	REFERENCIA	PORCENTAJE
SI	54	100%
NO	0	0%

### FIGURA # 23



### Análisis:

El 100 % de los encuestados indican que si es necesario la creación de un grupo de trabajo para la implementación del RCM (Mantenimiento basado en la confiabilidad).

### Interpretación:

Contar con un grupo especializado en el mantenimiento basado en la confiabilidad, el cual estará conformado con personal capacitado en equipos de última tecnología, representara una oportunidad de crecimiento profesional, teniendo como resultado garantizar el buen funcionamiento y la optimización de los equipos.

## **4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS**

Al realizar el análisis de las encuestas se pudo notar que existe un porcentaje alto de desconocimiento de nuevas técnicas, metodologías e instrumentos de alta precisión que nos indica a ciencia cierta las posibles fallas que pueda haber en los equipos en funcionamiento.

También se pudo verificar el interés de los colaboradores en la planificación de capacitaciones experimentales en sitio, el mismo que servirá como nuevas oportunidades de mejora así como para la adquisición nuevas herramientas afín de simplificar el trabajo de mantenimiento obteniendo excelentes resultados garantizando la optimización de los equipos en funcionamiento.

Nuestros encuestados determinaron que es muy importante la creación de un departamento para la implementación del RCM (mantenimiento basado en la confiabilidad) cuya función fundamental será la recopilación de información acerca de los equipos existente en la planta y decidir cuáles serán los que se deberán someter a la revisión.

Esto significara la realización de un registro completo, verificación de la función que desempeña y sus parámetros, así como también deberán estar capacitados para indicar o explicar cuáles son las causas de la falla en los equipos, que factores inciden para la falla de los equipos, que sucede cuando ocurre una falla, que se puede hacer para prevenir o predecir una falla.

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA**

#### **5.1 Tema:**

Plan para la implementación de RCM (mantenimiento Centrado en la confiabilidad en plantas de tratamientos de agua potable.

#### **5.2 Fundamentación:**

La empresa de agua potable de Guayaquil lleva a cabo un proceso de producción los 365 días del año, motivo por el cual sus indicadores cualitativos y cuantitativos resultan vulnerables ante una posible falla de sus equipos o procesos.

La afectación que pudiese sufrir un proceso como resultado de la paralización de un equipo podría atribuirse a problemas relacionados con el mantenimiento planificado.

El RCM (mantenimiento basado en la confiabilidad) es una de las tendencias de dirección del mantenimiento más atractivas en la actualidad, no en vano varios autores lo clasifican como la tercera generación del mantenimiento.

El tiempo perdido durante el proceso de producción ejerce una influencia negativamente significativa sobre los indicadores generales de producción, tales como el aprovechamiento de la capacidad potencial, rendimiento.

La importancia del aprovechamiento máximo del tiempo disponible para la producción es el objetivo principal de todas las gestiones para el aseguramiento de la producción, para ello la gestión de mantenimiento en las diferentes áreas debe asegurar la disponibilidad técnica de los equipos y procesos de producción.

El RCM es un método de análisis que no destruye el mantenimiento planificado, esto quiere decir, que no requiere de un cambio totalitario de la infraestructura actual, favorece la integración interdepartamental así como el trabajo en equipo para el análisis de los fallos.

El RCM está direccionado a equipos cuyos fallos son más impactantes sobre los factores de riesgos considerados como decisivos en el proceso de producción, cuyo análisis está basado en un estudio de las particularidades del proceso y el tipo de producción.

### **5.3 Justificación.**

La implementación del RCM (Mantenimiento basado en la confiabilidad) en la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil tiene como propósito principal proveer un claro entendimiento de las funciones de la planta y la operación de un grupo de trabajo multidisciplinario, así como la interacción entre los distintos subsistemas, el cual nos permitirá una clarificación y un consenso entre los miembros del equipo y la visualización grafica de los mismos.

Dicha propuesta busca desarrollar un plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la planta potabilizadora de agua, que optimice el mantenimiento, disminuya el tiempo de horas perdidas por falta de repuestos, mejorando la

confiabilidad de la planta para minimizar paradas imprevistas que puedan provocar pérdidas a futuro.

## **5.4 OBJETIVOS.**

### **5.4.1 Objetivo general de la propuesta.**

Desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la Confiabilidad (RCM) para el sistema de dosificación de cloro para la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Guayaquil, buscando reducir costos por mantenimiento, alargar la vida útil de los equipos y garantizar la confiabilidad de los mismos dentro del entorno operacional actual.

### **5.4.2 Objetivos específicos.**

- Conformar un equipo de trabajo de alto rendimiento con la finalidad de realizar un análisis de mejorabilidad sobre cada uno de los sistemas que conforman la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil y buscar el de mayor criticidad y mejorarlo.
- Diseñar matriz de roles y responsabilidades que serán asignadas a cada uno de los miembros del Grupo Natural de Trabajo (GNT).
- Implementar una metodología de trabajo (Análisis de modo falla y criticidad) buscando optimizar el mantenimiento del sistema de dosificación de cloro para la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil.(Figura # 24)

## **5.5 UBICACIÓN.**



**Figura # 24**

La planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil <sup>(18)</sup>, está ubicada en un terreno cuya superficie es aproximadamente 62 hectáreas a la altura del Kilómetro 27 de la vía a Daule. Recibe como nombre Planta de Potabilización de agua “LA TOMA”.

Estas instalaciones operan 24 horas del día con 28 personas en cada turno de 8 horas y con un total de 94 trabajadores asignados.

El río Daule, afluente principal del río Guayas, es la fuente de agua cruda para las plantas de Potabilización que producen agua para la ciudad de Guayaquil, la misma que se ha venido empleando desde el año 1950 en que se inauguró la primera planta de tratamiento de agua potable en La Toma.

La calidad del agua del río Daule está influenciada por las características que tienen las escorrentías superficiales provenientes tanto de las áreas agrícolas de su cuenca como de las descargas de aguas residuales originadas en las poblaciones situadas a lo largo de su curso.

El río recibe una razonable carga de residuos provenientes de aguas arriba de La Toma, originados de áreas de riego en suelos

---

18 <http://www.ffose.org.uy/aguayvida/web/content/descargas/aguaecuador.pdf>

agrícolas así como desechos domésticos e industriales lo que es comprobado también por la presencia de coliformes fecales.

Históricamente, la turbiedad y el color han sido altos en época de lluvias, y las concentraciones elevadas de hierro han ocurrido en asociación con la turbidez.

Con la construcción operación del embalse Daule-Peripa, la calidad del agua del río Daule se ha modificado bajando los niveles de turbidez y reduciendo las concentraciones de salinidad cerca de las captaciones que abastecen el complejo La Toma, mejorando por lo tanto, la calidad de agua cruda para el tratamiento y posterior consumo humano.

Con la implantación de esta represa se logró mantener caudales regularizados aguas abajo, permitiendo a las captaciones de agua cruda de las plantas de La Toma trabajen en mejores condiciones cualitativas y cuantitativas. El caudal medio anual regularizado previsto por la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Guayas (CEDEGE) en el río Daule cerca de La Toma, fue de 294,5 m<sup>3</sup>/s, lo suficiente para la prevención de la salinidad en La Toma y aprovisionamiento para todas las posibles demandas proyectadas. De la misma manera este gran caudal disminuye o anula cualquier percance que se pueda presentar sobre el río, como derrame de sustancias químicas o contaminantes.

## **5.6 FACTIBILIDAD.**

Para la planta de tratamiento de agua potable representa de gran importancia contar con muy buenos equipos confiables para su proceso de potabilización. Esta confiabilidad debe verse favorecida con adecuados procesos de mantenimiento aplicados a estos equipos.

En la planta de tratamiento de agua potable no existe un departamento especializado conformado por profesionales que planifique o diseñe un plan para la implementación de mantenimiento basado en la confiabilidad, el mismo que podrá detectar a manera futura posible fallas futuras de los equipos. Nuestro trabajo está orientado a crear o proponer este departamento que tendrá como finalidad:

- Realizar un listado de funciones y especificaciones.
- Determinación de fallos funcionales o técnicos.
- Revisar el historial de averías.
- Analizar la gravedad de los fallos.
- Buscar las diferentes opciones para prevenir o predecir los fallos.
- Determinar qué hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada.

## **5.7 DESCRIPCION DE LA PROPUESTA.**

Para la creación de un plan para la implementación del RCM es necesario crear o conformar un Grupo Natural de trabajo, al mismo es necesario involucrar a las diferentes áreas que conforman el área de mantenimiento, así como también al subgerente de producción, subgerente de mantenimiento, jefe departamental y un facilitador.

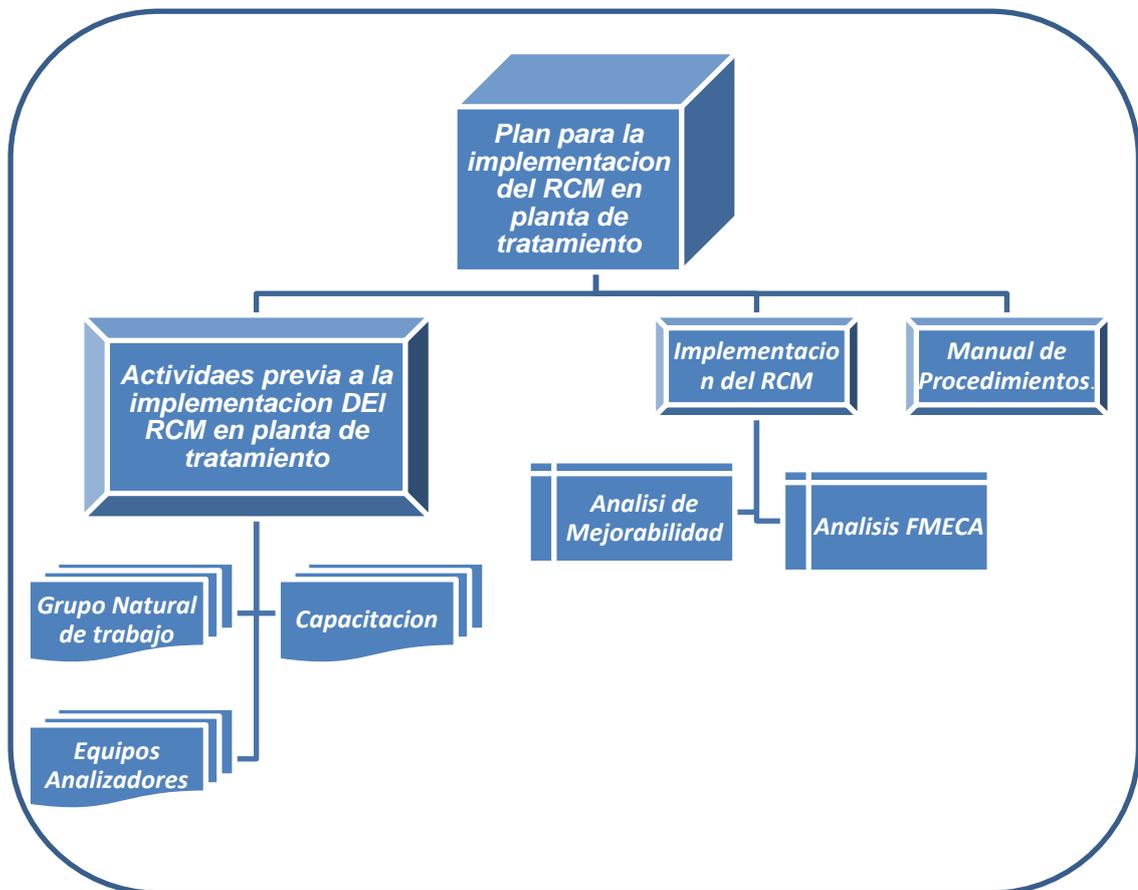
Para el desarrollo de esta propuesta primeramente se debe nombrar un Director de proyecto, el cual será el líder del Grupo Natural de trabajo durante la implementación del RCM, esta persona que va a ser designada por la organización deberá tener conocimiento del funcionamiento y operación de los equipos así como de las herramientas y técnicas de aplicaciones tales como análisis de modo falla, espina de pescado, análisis de mejorabilidad, adicional a estas técnicas es

importante recalcar que servirá de mucha ayuda el juicio del personal con muchos años de experiencia, así como también la experiencia adquirida en el manejo de equipos de última tecnología los cuales serán fundamentales para garantizar el éxito de la implementación del RCM.

### 5.7.1 Creación de la estructura de Desglose de trabajo.

La estructura de desglose de trabajo (EDT) está orientada al producto entregable, esto quiere decir que es el trabajo que debe realizar cada uno de los integrantes del grupo de trabajo (GNT) con la finalidad de lograr los objetivos planteados. En este caso para la implementación del RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad de la planta de tratamiento de agua de Guayaquil.

**Cuadro # 13**





Con este análisis podremos identificar por medio de frecuencias de fallos anuales en que parte de los subsistemas existe un mayor índice de fallos. Basándonos en datos estadísticos podemos verificar que los de mayor incidencia son: Sistema de vacío, maquinas dosificadoras de cloro, eyector de 2000PPD.

### 5.7.1.3 Espina de pescado.

Otra de las herramientas que se puede utilizar para la implementación del RCM es la espina de pescado, en donde una vez identificado cuales son los sistemas con mayor incidencia de fallos, se debe proceder a dividir cada sistema en diferentes componentes y las fallas que puedan presentar cada uno. Para lo cual se aplicara Lluvias de idea por parte de cada uno de los miembros del grupo natural de trabajo a fin de que la reunión sea dinámica y teniendo como resultado datos con criterios.

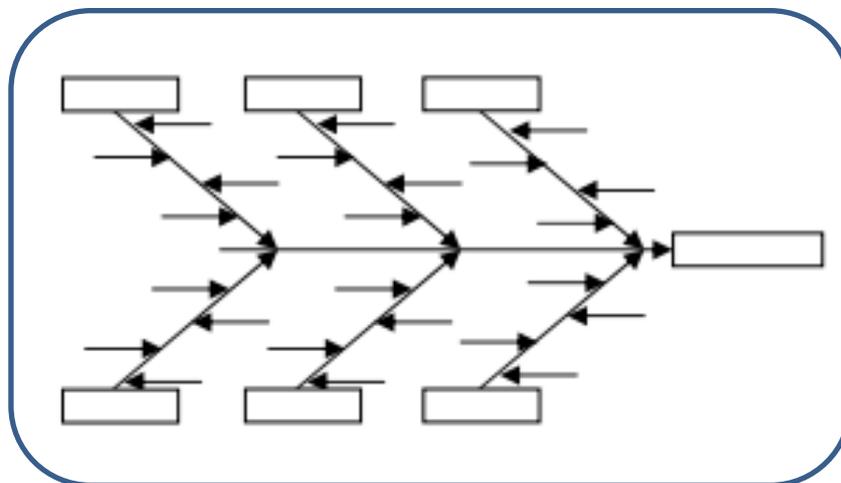


Figura # 25

### 5.7.1.4 Análisis de modo efectos de falla y criticidad.

Con la información obtenida en la lluvia de ideas podremos aplicar el análisis de modo efectos de falla y criticidad. Para lo cual se analiza la

función de los equipos, sus mecanismos de falla, las causas, consecuencias y que debemos hacer para minimizar las consecuencias.

Todo este análisis se basa en los conocimientos de funcionabilidad de los equipos, mantenimiento de los mismos y el material de la cual están construcción dichos elementos.

Existen 4 elementos en la que podremos resumir el FMECA.

- Requerimientos y normas de operación.
- Fallas Funcionales.
- Modos Funcionales.
- Efectos funcionales.

**Cuadro # 15**

Hoja de Trabajo RCM														
FMECA			Consecuencia:			O=Oculta		Severidad		1.- Menos de \$100				
Análisis de modo falla						S=Seguridad				2.- de \$101 a \$1.000				
Efectos y criticidad						A=Ambiental				3.- de \$1.001 a \$ 10.000				
Facilitador:		Aprobado:			O=Operacional				4.- más de 10.001					
Fecha:		Equipo:			N= No operacional									
Items	Componente	Modo de fallo	Causa raíz?	Fallo	Quezada, Marco Antonio (INTERAGUA): Infantil Aleatorio Edad	HP	TR	CR	falla	Consecuencia	Severidad	Tareas recomendadas en contra de las causas o de las consecuencias de falla	Ejecutor	Frecuencia

Luego de la obtención de resultado de los diferentes modos de falla y criticidad, se debió establecer una tarea específica para minimizar o eliminar su efecto en la producción, para ello se planifico una frecuencia de inspección así como también la creación de un manual de procedimientos para la ejecución del mantenimiento preventivo.

Adicional a este mantenimiento se planteó realizar a dichos equipos un mantenimiento predictivo, entre los cuales podemos mencionar, el análisis de vibración el mismo que es utilizado para aquellos componentes que mantienen movimiento giratorios a alta velocidad, análisis de aceite para verificar si existe algún daño superficial sufrido por materiales de determinadas condiciones de trabajo a los que están sometidos, análisis de ultrasonido el cual se lo emplea para verificar si existe alguna fuga en el sistema de vacío.

## 5.8 Conformación del Grupo natural de trabajo.

El grupo natural de trabajo (GNT) es un conjunto de personas que ocupan diferentes roles y funciones dentro de la organización, pero que deben trabajar en conjunto en un periodo determinado de tiempo, en un clima de potenciación de energía, con la finalidad de analizar los problemas existente, aportando con ideas acorde con la problemática, apuntando al logro planificado.

Perfil del grupo seleccionado:

- Amplia experiencia en el área.
- Alto nivel técnico, mínimo bachiller técnico.
- Desarrollo de cualidades personales.

**Cuadro # 16**

<b>Items</b>	<b>Nombre</b>	<b>Funciones</b>
1	Humberto Andrioli	Planificador
2	Julio Llaque	Diseñador
3	Guillermo Jordan	facilitador
4	Marco Quezada	Mantenedor Mecanico
5	Gustavo Delgado	Mantenedor Electrico
6	Dario Lage	Mantenedor Electronico
7	Fernando Rodriguez	Especialista
8	Roberto Quezada	Operador
9	Hugo Huaman	Administrador

## 5.9 Roles y responsabilidades de cada integrante del grupo natural de trabajo.

Como parte del proceso de implementación del RCM es necesario asignar las responsabilidades y los roles adquiridos para cada miembro del grupo de trabajo.

Rol asignado a cada miembro del grupo:

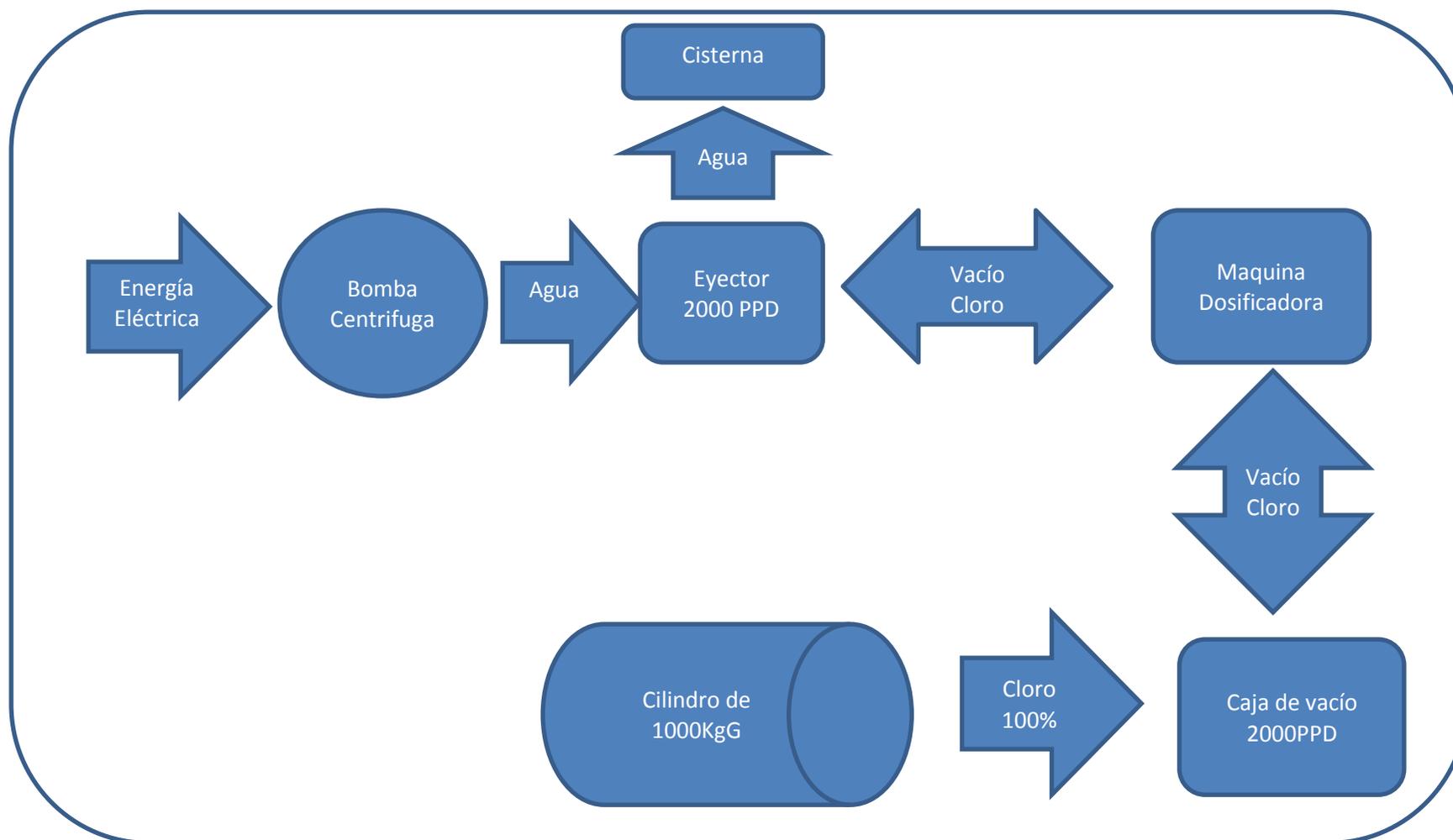
- **Planificador.-** Es la persona que nos proporcionará la visión holística del proceso y que nos ofrece una versión sistemática de las actividades que se van a realizar.
- **Diseñador:-** Es la persona que nos proveerá de los elementos de diseño y operación de los equipos.
- **Facilitador.-** Es la persona que nos va a brindar asesoría técnica o metodológica.
- **Mantenedor.-** Es la persona con suficiente experiencia adquirida durante la reparación-mantenimiento del sistema o equipo.
- **Especialista.-** Es la persona que tiene mucha experiencia en el área específica.
- **Operador.-** Es la persona que nos proporcionará la experiencia en cuanto al manejo y funcionamiento del sistema o equipo.

Cuadro # 17

<b>RESPONSABILIDADES DEL GRUPO NATURAL DE TRABAJO (GNT)</b>										
<i>Elaborado por:</i>										
<i>Nombre del proyecto:</i>	<i>Plan para la implementación del RCM en la planta de tratamiento de agua en Guayaquil</i>									
<i>Director del proyecto:</i>	<i>Marco Quezada Banchón</i>									
<i>Recursos</i>	Hugo Huaman	Julio Llaque	Guillermo Jordan	Marco Quezada	Gustavo Delgado	Dario Lage	Fernando Rodriguez	Humberto Andrioli	Roberto Quezada	
Selección del equipo para implementación del RCM								R		
Conformación del grupo natural de trabajo								R		
Capacitación del GNT sobre el RCM			R							
Solicitud de sala y equipos audiovisuales	R									
Documentación técnica requerida en cada reunión		R								
Coordinación de las reuniones semanales				R						
Control de asistencia a las reuniones					R					
Generación de hojas de FMECA para el análisis						R				
Digitación de información recopilada de cada reunión	R									
Generación de orden de trabajo a talleres por rediseños							R			
Seguimientos a los rediseños recomendados				R						
Elaboración de lista de chequeo para preventivo	R									
Aplicación de mantenimiento preventivo			R							
Seguimiento a la ejecución de los mantenimientos										
Generación del manual RCM				R						
Supervisión de la ejecución del proceso								R		
Realizar monitoreos a equipos										R

## 6. Proceso del Sistema de Dosificación de Cloro.

Cuadro # 18



Este sistema tiene como proceso fundamental mantener al cloro gas al vacío, para esto se emplea un eyector que tiene como función extraer dicho gas cloro. El eyector tiene dos objetivos el uno es extraer el gas cloro y el otro objetivo es el de crear una solución clorada.

La función principal del eyector es la de succionar el cloro a través del equipo, además sirve como cámara de mezcla entre el cloro y el agua, para lo cual necesita que exista una presión y caudal adecuado para poder determinar el correcto funcionamiento del equipo, para lo cual la bomba centrífuga juega un papel muy importante.

Otro elemento que conforma el sistema de dosificación de cloro es el gabinete, el cual está conformado por una caja diferencial de vacío, la misma que tiene como función la estabilización del vacío, evitando de esta manera variación en la dosificación de cloro requerida, adicionalmente existe otro elemento como es el medidor de caudal, el cual es un tubo de vidrio en la cual está impreso una regleta dosificadora la cual está en Kg/h o Lbs/día en la que se establece la dosificación necesaria para tratar un determinado volumen de agua.



**Figura # 26**

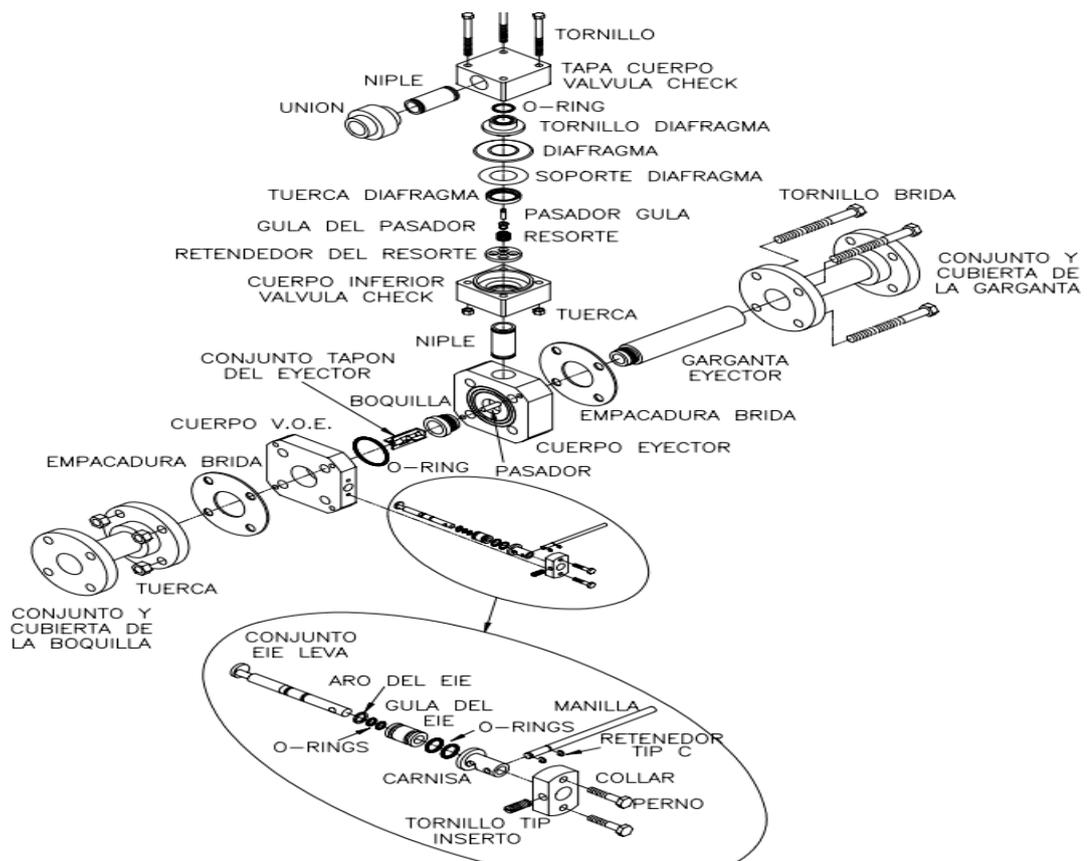
El principio de funcionamiento que utiliza este sistema es de lazo cerrado, en donde la desinfección se realiza considerando el caudal y el cloro residual. El funcionamiento del sistema empieza cuando la bomba garantice una presión de 75 PSI y un caudal de 66m<sup>3</sup>/h, la misma que fluye a través del eyector en donde están instalados un reductor (Nozzle 0,500" Orifice) Reduciendo de esta manera el diámetro de entrada para finalmente pasar por un Bushing (throat 0,9237" Orifice) produciéndose el efecto Venturi y crear un vacío, el cual abre una válvula check o anti retorno y seguidamente por la presión diferencial existente abre la válvula de entrada del regulador de vacío (Inlet Capsule) permitiendo el paso de gas cloro.

Un resorte opuesto al diafragma regula el vacío, el gas en vacío se mezcla con el agua en el eyector el mismo que es aplicado como solución. Todo el sistema está completamente al vacío (15in/Hg) desde el eyector hasta la válvula de entrada del regulador de vacío.

Si el suministro de agua hacia el eyector se interrumpe o el vacío se pierde por alguna ruptura en cualquiera de sus accesorios o daño en la válvula de entrada del regulador de vacío (Inlet Capsule) el resorte bajo tensión cierra inmediatamente la válvula de entrada e independiza el suministro de gas.



**Figura # 27**



**Figura # 28**

### 6.1 Línea de distribución de cloro en sala de cloración.

En la sala de cloración, ingresan una sola línea de extracción de cloro gas (en tubería PVC cedula 80), una proveniente de la unión de la línea nueva proveniente del sistema de intercambio (módulo switchover) y de la línea vieja en donde se tienen válvulas reguladoras de vacío como sistema BACKUP en caso de emergencia. Esta línea de extracción de cloro gas ingresa y se distribuye y conecta a cada gabinete. Esta línea cuenta con un juego de válvulas que permite la operación de cada gabinete de manera independiente y de igual manera como sistema BACKUP en caso que se requiera aumentar la dosificación en la precloración o postcloración.

La línea de extracción denominada antigua, No pasa por el sistema de intercambio, y se utiliza como BACKUP en caso de emergencia. Esta línea cuenta con cinco válvulas reguladoras de vacío (de 2000 PPD) ubicadas en la parte superior de la tubería de extracción y son utilizadas como se menciona anteriormente.



**Figura # 29**

Para la inyección del cloro gas se utilizan seis (6) eyectores, tres (3) para postcloración y los otros tres (3) para la precloración. En la salida cuentan con válvulas distribuidoras para la inyección de la solución clorada en los sectores de precloración y postcloración.



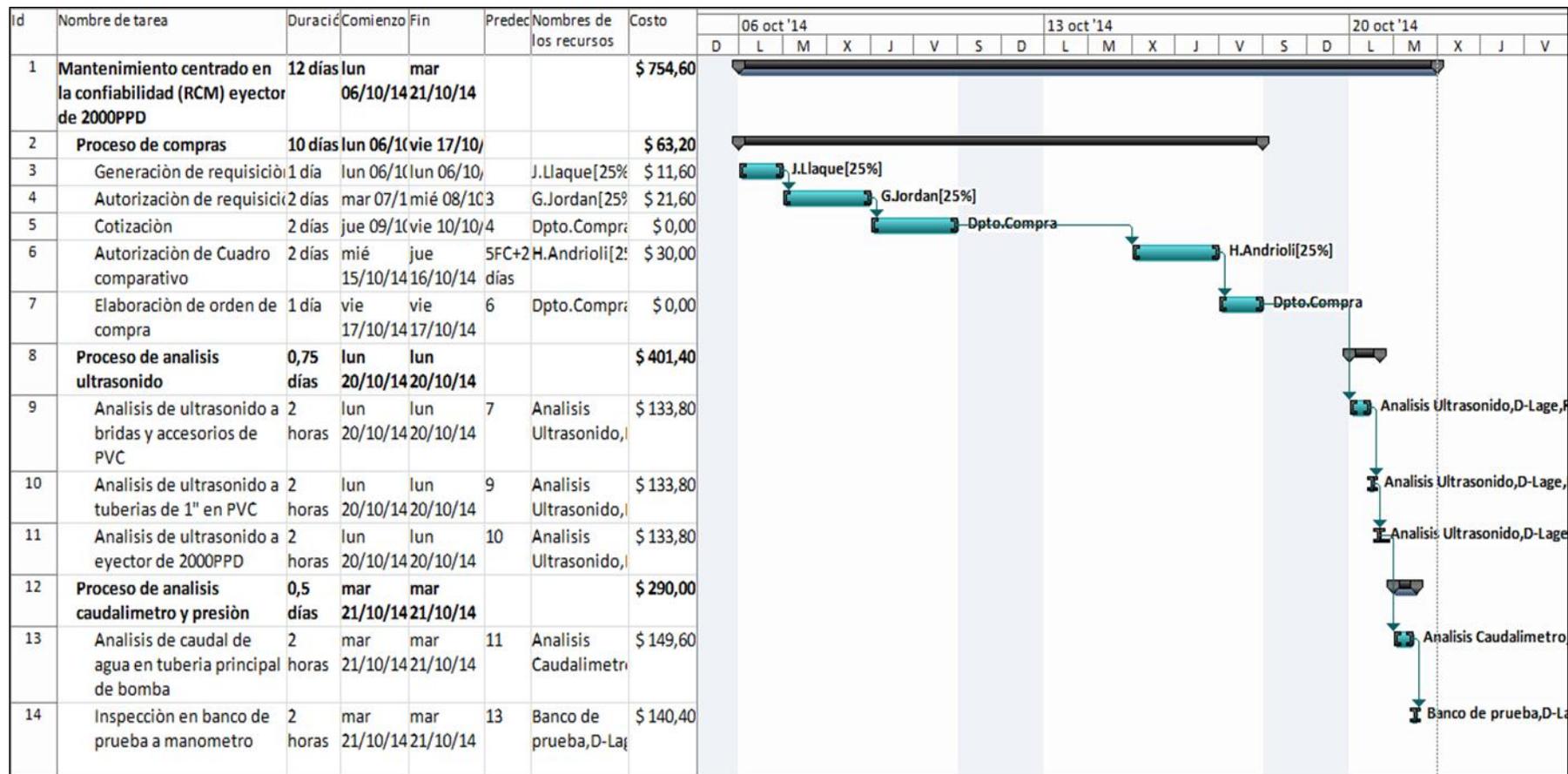
**Figura # 30**

## Presupuesto Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) Eyector

Informe presupuestario el sáb 20/09/14  
RCM EYECTOR

Id	Nombre de tarea	Costo fijo	Acumulación de costos fijos	Costo total	línea de base	Variación	Real	Restante
13	Analisis de caudal de agua en tul	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 194,40	\$ 0,00	\$ 194,40	\$ 0,00	\$ 194,40
9	Analisis de ultrasonido a bridas y	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80
10	Analisis de ultrasonido a tubería:	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80
11	Analisis de ultrasonido a eyector	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80
14	Inspección en banco de prueba a	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 150,60	\$ 0,00	\$ 150,60	\$ 0,00	\$ 150,60
6	Autorización de Cuadro compara	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 31,88	\$ 0,00	\$ 31,88	\$ 0,00	\$ 31,88
4	Autorización de requisición	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 22,95	\$ 0,00	\$ 22,95	\$ 0,00	\$ 22,95
3	Generación de requisición	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 13,05	\$ 0,00	\$ 13,05	\$ 0,00	\$ 13,05
5	Cotización	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
7	Elaboración de orden de compra	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
		<u>\$ 0,00</u>		<u>\$ 943,28</u>	<u>\$ 0,00</u>	<u>\$ 943,28</u>	<u>\$ 0,00</u>	<u>\$ 943,28</u>

### Cronograma Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) Eyector



**Presupuesto Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) Bomba Vertical.**

Informe presupuestario el sáb 20/09/14  
RCM BOMBA VERTICAL

Id	Nombre de tarea	Costo fijo	Acumulación de costos fijos	Costo total	línea de base	Variación	Real	Restante
3	Generación de requisición	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
4	Autorización de requisición	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
5	Cotización	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
6	Autorización de cuadro compara	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
7	Elaboración de orden de compra	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
9	Verificar el estado del matrimo	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
10	Instalación del Fituxlaser	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
11	Alineación bomba motor	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
13	Colocación de sensores parte lat	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
14	Colocación de sensores parte frc	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
15	Colocación de sensores parte su	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
16	Colocación de sensores parte inf	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
		<u>\$ 0,00</u>		<u>\$ 0,00</u>				

## Cronograma Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) Bomba Vertical.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesores	Nombres de los recursos	Costo	06 oct '14							13 oct '14							20 oct '14							27 oct '14							03 nov '14																																									
								V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X																																				
1	Mantenimiento Preventivo Bombas Verticales	34 días	mié 01/10/14	lun 03/11/14			\$5.692,85																																																																						
2	Construcción de Elementos	30,38 días	mié 01/10/14	vie 31/10/14			\$4.330,40																																																																						
3	Proceso de Compra	15 días	mié 01/10/14	mié 15/10/14			\$26,40																																																																						
4	Generar requisición	1 día	mié 01/10/14	mié 01/10/14		M. Quezada	\$12,00																																																																						
5	Autorización de requisición	2 días	mié 01/10/14	jue 02/10/14	4CC	G. Jordan[25%]	\$7,20																																																																						
6	Cotización	5 días	lun 06/10/14	vie 10/10/14	5FC+3 días	Dpto. Compras	\$0,00																																																																						
7	Autorización de cuadro comparativo	2 días	lun 13/10/14	mar 14/10/14	6FC+2 días	G. Jordan[25%]	\$7,20																																																																						
8	Elab. De Orden de Compra	1 día	mié 15/10/14	mié 15/10/14	7	Dpto. Compras	\$0,00																																																																						
9	Provisión de elementos	10,38 días	mar 21/10/14	vie 31/10/14			\$4.304,00																																																																						
10	Construcción de bocin en bronce SAE 65	3 días	mar 21/10/14	jue 23/10/14	8FC+5 días	Proveedor	\$180,00																																																																						
11	Construcción de eje superior en acero inoxidable	3 horas	vie 24/10/14	vie 24/10/14	10		\$320,00																																																																						
12	Construcción de 2 ejes principales en Acero inoxidable	3 días	vie 24/10/14	lun 27/10/14	11		\$640,00																																																																						
13	Construcción de 2 cojinetes de caucho (Centrador)	1 día	lun 27/10/14	mar 28/10/14	12		\$120,00																																																																						
14	Construcción de manguito de sujeción	3 días	mar 28/10/14	vie 31/10/14	13		\$480,00																																																																						
15	Construcción de 6 cojinetes de caucho(Empeller)	3 días	mar 28/10/14	vie 31/10/14	14CC		\$360,00																																																																						
16	Construcción de 6 centradores en bronce SAE 65	3 días	mar 28/10/14	vie 31/10/14	14CC		\$540,00																																																																						
17	Construcción de 6 anillos rozantes en bronce SAE 65	3 días	mar 28/10/14	vie 31/10/14	14CC		\$832,00																																																																						
18	Construcción de 6 anillos de desgastes en Bronce SAE 65	3 días	mar 28/10/14	vie 31/10/14	14CC		\$832,00																																																																						
19	Trabajos Externos	10 días	mar 21/10/14	jue 30/10/14			\$900,00																																																																						
20	Balaneo dinamico de 6 turbinas	1 día	mar 21/10/14	mar 21/10/14	10CC		\$180,00																																																																						
21	Sandblasting de accesorios	1 día	lun 27/10/14	lun 27/10/14	20FC+5 días		\$240,00																																																																						
22	Pintado con epoxico grado alimenticio	3 días	mar 28/10/14	jue 30/10/14	21		\$480,00																																																																						
23	Montaje de Bomba Vertical	1 día	lun 03/11/14	lun 03/11/14			\$462,45																																																																						
24	Cambio de empaquetadura	1 hora	lun 03/11/14	lun 03/11/14	18,22FC+3 d	M. Quezada,G. Jc	\$261,50																																																																						
25	Instalación de 64 pernos de 8mm x 20mm acero inoxidable	2 horas	lun 03/11/14	lun 03/11/14	24CC	M. Quezada,G. Jordan[25%],D.	\$49,10																																																																						
26	Cambio de resorte valvula Check	2 horas	lun 03/11/14	lun 03/11/14	25	M. Quezada,G. Jc	\$24,10																																																																						
27	Cambio de sello de caucho de valvula Check	2 horas	lun 03/11/14	lun 03/11/14	26	M. Quezada,G. Jc	\$39,10																																																																						
28	Cambio de rodamientos 6011-7209	2 horas	lun 03/11/14	lun 03/11/14	27	M. Quezada,G. Jc	\$49,10																																																																						
29	Cambio de aceite grado alimenticio	1 hora	lun 03/11/14	lun 03/11/14	28FF	M. Quezada,G. Jc	\$39,55																																																																						

**Presupuesto Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) Caja de Vacío.**

Informe presupuestario el sáb 20/09/14 RCM CAJA DE VACÍO 2000 PPD									
Id	Nombre de tarea	Costo fijo	Acumulación de costos fijos	Costo total	línea de base	Variación	Real	Restante	
11	Analisis de ultrasonido a valvula:	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	
12	Analisis de ultrasonido valvulas :	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	
13	Analisis de ultrasonido a tuberia	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	
14	Analisis de ultrasonido a unione:	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	
15	Analisis de ultrasonido a inlet as:	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	\$ 0,00	\$ 176,80	
9	Analisis de ultrasonido a inlet ca	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 163,00	\$ 0,00	\$ 163,00	\$ 0,00	\$ 163,00	
10	Analisis de ultrasonido a Back y f	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 163,00	\$ 0,00	\$ 163,00	\$ 0,00	\$ 163,00	
6	Autorizaciòn de cuadro compara	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 127,50	\$ 0,00	\$ 127,50	\$ 0,00	\$ 127,50	
4	Autorizaciòn de requisiciòn	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 91,80	\$ 0,00	\$ 91,80	\$ 0,00	\$ 91,80	
3	Generaciòn de requisiciòn	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 52,20	\$ 0,00	\$ 52,20	\$ 0,00	\$ 52,20	
5	Cotizaciòn	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	
7	Elaboraciòn de orden de compra	\$ 0,00	Prorrateo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	
		\$ 0,00		\$ 1.481,50	\$ 0,00	\$ 1.481,50	\$ 0,00	\$ 1.481,50	

### Cronograma Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) Caja de Vacío.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Prede	Nombres de los recursos	06 oct '14							13 oct '14							20 oct '14						
							L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J			
1	<b>Mantenimienro Centrado en la confiabilidad (RCM) Caja de Vacío 2000PPD</b>	<b>14 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>jue 23/10/14</b>																							
2	<b>Proceso de compras</b>	<b>14 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>jue 23/10/14</b>																							
3	Generación de requisición	1 día	lun 06/10/14	lun 06/10/14		J.Llaque																					
4	Autorización de requisición	2 días	mar 07/10/14	mié 08/10/14	3	G.Jordan																					
5	Cotización	2 días	jue 09/10/14	vie 10/10/14	4	Dpto.Compra																					
6	Autorización de cuadro comparativo	2 días	lun 13/10/14	mar 14/10/14	5	H.Andrioli																					
7	Elaboración de orden de compra	1 día	mié 15/10/14	mié 15/10/14	6	Dpto.Compra																					
8	<b>Proceso de analisis de ultrasonido</b>	<b>4 días</b>	<b>lun 20/10/14</b>	<b>jue 23/10/14</b>																							
9	Analisis de ultrasonido a inlet capsule	2 horas	jue 16/10/14	jue 16/10/14	7	D-Lage,G.De Ultrasonido																					
10	Analisis de ultrasonido a Back y frnt body	2 horas	jue 16/10/14	jue 16/10/14	9	D-Lage,G.De Ultrasonido																					
11	Analisis de ultrasonido a valvulas de cierre rápido	2 horas	jue 16/10/14	jue 16/10/14	10	D-Lage,F.Roc Ultrasonido																					
12	Analisis de ultrasonido valvulas angulares	2 horas	jue 16/10/14	jue 16/10/14	11	D-Lage,F.Roc Ultrasonido																					
13	Analisis de ultrasonido a tuberia de 3/4" acero	2 horas	vie 17/10/14	vie 17/10/14	12	D-Lage,F.Roc Ultrasonido																					
14	Analisis de ultrasonido a uniones amoniacales de 3/4"	2 horas	vie 17/10/14	vie 17/10/14	13	Analisis Ultrasonido,																					
15	Analisis de ultrasonido a inlet assembly	2 horas	vie 17/10/14	vie 17/10/14	14	Analisis Ultrasonido,																					

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Es necesario contar con el apoyo de la dirección de operaciones Técnicas y obras para que la implementación del RCM no solo sea una iniciativa por parte del área de mantenimiento sino que sea una estrategia de la Organización.
- Para la implementación del RCM en el sistema de dosificación de cloro debe considerarse un proceso específico a la vez y no querer aplicarlo en forma simultánea a otros procesos.
- El grupo Natural de Trabajo debe estar conformado por personal debidamente capacitación y con mucha experiencia en el área a fin de poder garantizar “lluvias de ideas” y obtener las mejores alternativas para su aplicación en el proceso.
- Para garantizar el éxito del proyecto es necesario dar una adecuada seguimiento y control, para lo cual es necesario realizar auditorías semestrales que permita verificar el cumplimiento de las acciones predictivas recomendadas.
- Se pudo evidenciar el compromiso de los integrantes del Grupo Natural de Trabajo para la agilización en el proceso de implementación del RCM en el sistema de dosificación de cloro.
- La implementación del RCM en el sistema de dosificación de cloro debe servir como guía para el desarrollo de otros procesos a

sistema de tratamiento de agua que presenten problemas a fin de garantizar su funcionalidad.

- Con la aplicación del RCM en el sistema de dosificación de cloro, se pudo lograr mejoras continuas en técnicas de mantenimiento, tales como mantenimiento Predictivo, análisis de modo falla y criticidad, datos de partes y piezas, manual de procedimientos, a fin de garantizar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipo.

## **RECOMENDACIONES.**

- Continuar la implementación del RCM a otros subsistemas o equipos de la planta de tratamiento, buscando la optimización de los mismos.
- Realizar auditorías periódicas (& meses) con la finalidad de dar seguimiento y control de las acciones recomendadas por el Grupo Natural de Trabajo.
- Continuar capacitando a los colaboradores de la Organización con la finalidad de ir sumando al Grupo Natural de Trabajo nuevos colaboradores que ayuden con “lluvias de ideas” creando una cultura Organizacional.
- Una vez implementado el RCM, se recomienda llevar un registro de planos (Microfilms) repuestos, ordenes de trabajo, mantenimiento predictivos y proactivos de los equipos en proceso.

# ANEXOS

<b>ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD</b>			
<b>FMECA</b>			
Facilitador:		Equipo: Tablero Electrico	Fecha:
Aprobado:			Elaborado:
<b>Items</b>	<b>Componente</b>	<b>Modo de Fallo</b>	<b>Causa de Fallo</b>
1	Relee	Relee sobrecorriente	Apertura de relle
		Perdida de fase	Apertura de relle
2	Transformador	Cortocircuito en la bobina	Perdida de aislamiento
		Aumento de temperatura	Falla sistema de refrigeración
3	Motor	Falla rodamientos	Rodamientos con problema de lubricación
		Falla de las escobillas	Escobillas usadas o sucias
		Cortocircuito en la bobina	Aislamiento quebrado
		Goteras	Sellos dañados
		Falla al regresar	Lineas Bloqueadas
4	Breacker	Cortocircuito en contactos	Contactos fundidos
		Contactos fallan abiertos	Contactos sucios
		Fallas para activar	Falla en el mecanismo
		Fallas para activar	Mecanismo, corrosión, uso, bloqueo li
		Fallas para desconectar	Mecanismo, corrosión, uso, bloqueo li
5	Abastecimiento de Potencia	Perdida de potencia de salida	Componentes internos fallan
		Salida irregular	Rectificador interno, Condensador fall
		Nivel incorrecto de voltaje	Falla regulador interno
		Cortocircuito	Cable en mal estado
		Terminales rotos o flojos	Terminales fundidos

ANEXO-1

<b>ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD</b>			
<b>FMECA</b>			
Facilitador:		Equipo: Bomba Centrifuga Vertical	Fecha:
Aprobado:			Elaborado:
Items	Componente	Modo de Fallo	Causa de Fallo
1	Eje	Alta vibración	Desgaste en eje superior
		Alta vibración	Desgaste en eje principal de la bomba
2	Cabezal de descarga superior	Vibración	Desgaste en el bocin de bronce
		Recalentamiento en cajera y eje princip	Rodamiento con problema de lubricación
		Fuga de agua	Mergollares desgastados
3	Tuberia de succión	Perdida de presión	Empaque en mal estado
		Desalineamiento de centradores	Pernos rotos
		Perdida de presión	Perforación en tuberia
		Desalineamiento en los tasones	Desgaste en las cejas centradoras de brida
4	Voluta	Perdida de presión	Desgastes en los anillos rosantes
		Perdida de presión	Desgastes en los anillos de protección
		Daños de los tasones	Cavitación
		Desalineamiento de los tasones	Desgastes entre las cejas de alineamiento
		Alta vibración	Desgastes de los centradores
5	Empeller	Daños en el empeller	Cavitación
		Perdida de caudal	Desgaste en diametro exterior de empeller
		Perdida de presión	Taponamiento entre aspas
		Alta vibración	Desgaste del centrador
		Alta vibración y desgaste de componen	Desbalanceamiento del empeller

ANEXO-2

ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD			
FMECA			
Facilitador:		Equipo: Eyector de 2000PPD	Fecha:
Aprobado:			Elaborado:
Items	Componente	Modo de Fallo	Causa de Fallo
1	Bridas	Perdida de presión	Ruptura de brida
		Perdida de presión	Daño en empaquetadura
2	Valvula Antiretorno	Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en diafragma
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en el resorte
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en asiento de valvula
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en O'ring
3	Nozzle 0,500"	Perdida de vacío	Daño en la rosca
		Perdida de vacío	Desgaste en agujero 0,500"
		Perdida de vacío	Desgaste en base de sujeción
4	Throat 0,9237	Perdida de vacío	Daño en rosca
		Perdida de vacío	Desagaste en agujero de 0,9237"
		Perdida de vacío	Desgaste de base de sujeción

ANEXO-3

## ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD

### FMECA

Facilitador:	Equipo: Eyector de 2000PPD	Fecha:	
Aprobado:		Elaborado:	
Items	Componente	Modo de Fallo	Causa de Fallo
1	Bridas	Perdida de presión	Ruptura de brida
		Perdida de presión	Daño en empaquetadura
2	Valvula Antiretorno	Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en diafragma
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en el resorte
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en asiento de valvula
		Contaminación de línea de vacío con agua	Daño en O'ring
3	Nozzle 0,500"	Perdida de vacío	Daño en la rosca
		Perdida de vacío	Desgaste en agujero 0,500"
		Perdida de vacío	Desgaste en base de sujeción
4	Throat 0,9237	Perdida de vacío	Daño en rosca
		Perdida de vacío	Desgaste en agujero de 0,9237"
		Perdida de vacío	Desgaste de base de sujeción

### ANEXO-4

ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD			
FMECA			
Facilitador:		Equipo: Gabinete	Fecha:
Aprobado:			Elaborado:
Items	Componente	Modo de Fallo	Causa de Fallo
1	Linea de vacio	Perdida de vacio	Daño en la valvula de entrada
		Perdida de vacio	Ruptura de tuberias y accesorios
2	Swicher	Perdida de vacio	Ruptura de diafragma
		Perdida de vacio	Ruptura de mangueras
3	Caja reguladora diferencial	Fuga de gas cloro	Daño en Front Body
		Fuga de gas cloro	Fisura en Back Body
		Fuga de gas cloro	Ruptura de mangueras y acoples
		Perdida de vacio	Daño en resorte
		Fuga de gas cloro	Daño en diafragma
4	Vaso de vidrio Rotametro	Fuga de gas cloro	Daño en top meter
		Fuga de gas cloro	Daño en low meter
		No se puede medir la dosificacion exacta	Se trabo el rotametro
		Fuga de gas cloro	Daño de O'rines
		Fuga de gas cloro	Daño en rosca de regulaciòn

ANEXO-5

## ANALISIS DE MODO FALLO Y CRITICIDAD

### FMECA

Facilitador:	Equipo: Cilindro de 1000 Kg	Fecha:	
Aprobado:		Elaborado:	
Items	Componente	Modo de Fallo	Causa de Fallo
1	Linea de presión	Fuga de gas cloro	Daño en la valvula angular (Heater Valve)
		Fuga de gas cloro	Ruptura de tuberías y accesorios
2	Junta Amoniaca	Fuga de gas cloro	Daño en tubería y rosca
		Fuga de gas cloro	Ruptura de empaque de teflón
3	Cilindro	Fuga de gas cloro	Daño de valvula angular cloro gas
		Fuga de gas cloro	Daño de valvula angular cloro liquido
		Fuga de gas cloro	Ruptura de cañeria flexible y acoples
		Fuga de gas cloro	Daño de empaquetadura de teflón
		No puede trabajar la linea de presión	Daño en Jocker
4	Balanza	No se puede dosificar cloro	Daño en el swicher intercambiador
		No se puede colocar el cilindro	Daño en rodillos de sujeción
		No se puede colocar el cilindro	Daño en la estructura de sujeción de cilindro
		No se puede colocar el cilindro	Ruptura de pernos de sujeción
		No se puede colocar el cilindro	Daño en las rotulas

### ANEXO-6

## BIBLIOGRAFIA

[es.wikipedia.org/wiki/Estroboscopia](http://es.wikipedia.org/wiki/Estroboscopia)

<http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2636.pdf>

<http://www.ffose.org.uy/aguayvida/web/content/descargas/aguaecuador.pdf>

<http://www.jupesa.com.ec/web/ensayos-no-destructivos.php>

<http://www.mantenimientoplanificado.com>

[www.mongrafias.com/trabajos42/selección-muestra/selección-muestra2.shtml](http://www.mongrafias.com/trabajos42/selección-muestra/selección-muestra2.shtml)

<http://radiologia.foro.es.net/>

<http://www.soporteycia.com/articulos/rcm2/SOP-Articulos-RCM-20Nov-2009.pdf> John Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

[http://vibrates.net/pages/tecnico2\\_termografia.html](http://vibrates.net/pages/tecnico2_termografia.html)

[http://vibratec.net/pages/tecnico\\_anavibra.html](http://vibratec.net/pages/tecnico_anavibra.html)

Reliability-Centred maintenance (1998) Evolución del mantenimiento a nivel mundial (PEREZ, Carlos Mario, Confiabilidad y evolución del mantenimiento, [http:// www.soporteycia.com/.../confiabilidad/RCM-Articulo-confiabilidad-evol](http://www.soporteycia.com/.../confiabilidad/RCM-Articulo-confiabilidad-evol)

Reliability-Centred maintenance (1998) Evolución del mantenimiento a nivel mundial