

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA  
EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO BOSCONIA DEL ACUEDUCTO  
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

**RICARDO PULIDO RAMÍREZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA  
EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO BOSCONIA DEL ACUEDUCTO  
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

**RICARDO PULIDO RAMÍREZ**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director  
**ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES**  
Ingeniero Mecánico

Codirector  
**JOLMAN LOZANO PICO**  
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

*Este trabajo de grado dedico:*

*A Dios, porque con el todo lo puedo, y gracias a Él he podido salir de todas las adversidades en la vida.*

*A mi hijo Gabriel Alejandro, fuente de inspiración en mi vida.*

*A las mujeres de mi vida, mi madre Miryam, esposa Emilcen y hermanas Solangel y Marcela que gracias a su apoyo y comprensión incondicional, sirvieron como fuerza y motor para lograr este alcanzar las metas propuestas.*

*A mi abuelo Pedro (Q.E.P.D), por ser un gran ejemplo de responsabilidad, sacrificio y trabajo en la vida.*

*A mi papa Ricardo, mi padrastro Marcelo y mis tíos Lolo, Oriol, Pedro, Celestino, Víctor, Beto y Adela, por toda su colaboración a lo largo de todos estos años.*

*A todas las personas, hermanos, suegros y amigos que de alguna manera contribuyeron en la consecución de este gran logro.*

***RICARDO***

## **AGRADECIMIENTOS**

Damos agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra forma apoyaron la realización del presente trabajo de grado.

Al Ingeniero Jolman Lozano Pico, Coordinador de Mantenimiento Mecánico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., por brindarnos la oportunidad de realizar la práctica en esta empresa.

Al Ingeniero Isnardo González Jaimes, Director del proyecto, por orientarnos en el camino a la formación profesional.

A Orlando Salcedo, técnico mecánico de la Planta Bosconia, por toda su colaboración y apoyo a lo largo de todo el proyecto.

A Juan Manuel Galvis, Ingeniero Mecánico, por todos los aportes realizados al proyecto.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>1. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.</b>	<b>23</b>
1.1. RESEÑA HISTORICA	23
1.2. MISIÓN	25
1.3. VISIÓN	26
1.4. ACTIVIDAD ECONÓMICA	26
1.5. EXTENSIÓN GEOGRÁFICA	26
1.5.1. Edificio Comercial	26
1.5.2. Edificio Principal	27
1.5.3. Plantas de Tratamiento	27
1.5.4. Embalse Bucaramanga	30
1.6. FUENTES DE AGUA	31
1.6.1. Fuente del Río Surata	31
1.6.2. Fuente del Río Tona	32
1.6.3. Fuente del Río Frio	32
1.7. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	32
1.8. GESTIÓN AMBIENTAL	33
1.9. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	34
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO BOSCONIA</b>	<b>35</b>

2.1.	SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL RIO SURATA	38
2.1.1.	Estructura de Captación	38
2.1.2.	Conducción Captación – Pretratamiento	41
2.2.	PROCESO E INSTALACIONES DE PRETRATAMIENTO	41
2.2.1.	Estructura de llegada y Dosificación de Insumos Químicos en el Pretratamiento	42
2.2.2.	Desarenadores	44
2.2.3.	Presedimentadores	46
2.3.	PROCESO E INSTALACIONES DE TRATAMIENTO	49
2.3.1.	Estructura de Llegada, Coagulación y Mezcla Rápida	49
2.3.2.	Floculación	54
2.3.3.	Sedimentación	55
2.3.4.	Filtración	58
2.3.5.	Desinfección (Cloración)	62
2.3.6.	Estabilización	63
2.3.7.	Almacenamiento	64
2.4.	SISTEMA DE BOMBEO	66
2.4.1.	Unidades Principales de Bombeo	66
2.4.2.	Sistema de Refrigeración	67
2.4.3.	Sistema de Lubricación	69
2.4.4.	Unidad de Llenado	70
2.4.5.	Tuberías de Succión, Descarga, Impulsión y tanques de Distribución	71
2.4.6.	Sistema de Protección Contra el Golpe de Ariete	74

2.4.7.	Tableros de Control	74
2.4.8.	Subestación Eléctrica	75
<b>3.</b>	<b>MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)</b>	<b>77</b>
3.1.	HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL RCM	77
3.2.	DEFINICIONES BASICAS DE RCM	80
3.3.	TEORÍA Y FUNDAMENTOS BASICOS DEL RCM	81
3.3.1.	Registro de Planta y Definición de Sistemas	83
3.3.2.	Funciones y Estándares de Funcionamiento de los Activos	84
3.3.3.	Fallas Funcionales	85
3.3.4.	Modos de Falla	86
3.3.5.	Efectos de la Falla	88
3.3.6.	Nivel de Análisis y la Hoja de Información	89
3.3.7.	Consecuencias de la Falla	90
3.3.8.	Mantenimiento Proactivo: Tareas Preventivas	92
3.3.9.	Mantenimiento Proactivo: Tareas Predictivas	93
3.3.10.	Otras acciones de mantenimiento o Acciones a Falta de	94
3.3.11.	El Diagrama de Decisión de RCM	95
3.3.12.	Aplicación del Proceso RCM	100
<b>4.</b>	<b>APLICACIÓN DEL PROCESO DE ANALISIS RCM A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BOSCONIA</b>	<b>102</b>
4.1.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	102
4.2.	APLICACIÓN DEL ANALISIS RCM AL SISTEMA DE CLORACION	106
4.2.1.	Contexto operacional del Sistema de Cloración	106

4.2.1.1.	Descripción del Subsistema de Suministro de Cloro	113
4.2.1.2.	Descripción del Subsistema de Suministro de Agua	124
4.2.1.3.	Descripción del Subsistema Eléctrico	127
4.2.2.	Hoja de Información del Sistema de Cloración	129
4.2.3.	Programa de Mantenimiento: Hoja de Decisión del Sistema de Cloración 156	
4.3.	APLICACIÓN DEL ANALISIS RCM AL SISTEMA DE LA UNIDAD DE BOMBEO N° 1	176
4.3.1.	Contexto operacional del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1	176
4.3.1.1.	Descripción del Subsistema Hidráulico	184
4.3.1.2.	Descripción del Subsistema Eléctrico	195
4.3.2.	Hoja de Información del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1	198
4.3.3.	Programa de Mantenimiento: Hoja de Decisión del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1	215
<b>5.</b>	<b>ANALISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>229</b>
5.1.	ANALISIS DE COSTOS DEL PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN EL A.M.B. S.A. E.S.P.	229
5.2.	MEDICION COSTO - BENEFICIO PARA LA IMPLEMENTACION DE RCM 233	
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>237</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>239</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>241</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Logo Actual del A.M.B. S.A. E.S.P.	25
Figura 2. Edificio Comercial	26
Figura 3. Edificio Principal	27
Figura 4. Planta Bosconia	28
Figura 5. Planta La Flora	28
Figura 6. Planta Morrórico	29
Figura 7. Planta Floridablanca	29
Figura 8. Ubicación Geográfica de las Plantas de Tratamiento	30
Figura 9. Ubicación Geográfica de las Fuentes de Agua	31
Figura 10. Laboratorio de Control de Calidad	32
Figura 11. Organigrama del A.M.B. S.A. E.S.P.	34
Figura 12. Plano de la Planta de Tratamiento Bosconia	36
Figura 13. Procesos de Potabilización del Agua en la Planta Bosconia	37
Figura 14. Estructura de Captación, Compuestas Radiales y cámara de Derivación.	39
Figura 15. Estructura de Captación del Río Surata	40
Figura 16. Esquema del Proceso de Pretratamiento	41
Figura 17. Estructura de Llegada al Pretratamiento	42
Figura 18. Canaleta Parshall de Pretratamiento	43

Figura 19. Equipos de Dosificación de Insumos Químicos	44
Figura 20. Estructura de los Desarenadores	45
Figura 21. Tanques Desarenadores	46
Figura 22. Estructura de Presedimentadores	47
Figura 23. Presedimentadores	48
Figura 24. Estructura de Llegada, Edificio de químicos y Flocladores	50
Figura 25. Canal de Aproximación	51
Figura 26. Esquema del Proceso de Coagulación	52
Figura 27. Edificio de Químicos y Equipos de Dosificación de Sulfato de Aluminio Líquido y en Solución	52
Figura 28. Esquema del Proceso de Floclación	54
Figura 29. Flocladores Mecánicos	55
Figura 30. Esquema del Proceso de Sedimentación	55
Figura 31. Estructura de Sedimentadores	57
Figura 32. Sedimentadores	58
Figura 33. Esquema del Proceso de Filtración	59
Figura 34. Estructura de Filtros	60
Figura 35. Mesa de Control de Filtros	61
Figura 36. Esquema del Proceso de Desinfección	62
Figura 37. Cuarto de Cloración	63
Figura 38. Esquema del Proceso de Estabilización	63
Figura 39. Equipos del Proceso de Estabilización	64
Figura 40. Esquema del Proceso de Almacenamiento	64

Figura 41. Vista General de la Unidad de Bombeo Principal	66
Figura 42. Sistema de Refrigeración	67
Figura 43. Esquema General del Sistema de Refrigeración	68
Figura 44. Unidades de Lubricación	69
Figura 45. Unidad de Llenado	70
Figura 46. Tubería de Impulsión del Sistema de Bombeo	72
Figura 47. Esquema de la Subestación Eléctrica Bosconia	76
Figura 48. Prueba de Tiempo de Vida de Rodamientos	79
Figura 49. Diagrama de Flujo RCM	82
Figura 50. Registro de Planta y Niveles de Jerarquía	83
Figura 51. Patrones de Falla	87
Figura 52. Tiempo de Parada de la Máquina Vs Tiempo de Reparación	89
Figura 53. Hoja de Información RCM	90
Figura 54. Evaluación de las consecuencias de falla	92
Figura 55. Curva P-F	94
Figura 56. Diagrama de Decisión RCM: Fallas Ocultas	96
Figura 57. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias de Seguridad y Medio ambiente	97
Figura 58. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias Operacionales	98
Figura 59. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias No Operacionales	99
Figura 60. Hoja de Decisión RCM	100
Figura 61. Grupo de Revisión RCM	101
Figura 62. Demanda del Cloro y Cloro Residual	107

Figura 63. Disociación del HOCL según el PH	111
Figura 64. Esquema Básico del Sistema de Cloración.	112
Figura 65. Contenedor de Cloro	113
Figura 66. Orientación de las Válvulas en el Contenedor	114
Figura 67. Básicas de las Válvulas del Contenedor	115
Figura 68. Dispositivos de Alivio de Presión - Fusibles	116
Figura 69. Yugo, Adaptador y Conexión Flexible	117
Figura 70. Balanza	117
Figura 71. Esquema Básico del Clorador	118
Figura 72. Filtro y Válvula de Línea del Sistema de Cloración	119
Figura 73. Esquema básico de los cloradores de la etapa de postcloración	122
Figura 74. Esquema básico de los cloradores de la etapa de precloración	123
Figura 75. Esquema General de las Bombas de Cloración	124
Figura 76. Válvulas de compuerta de vástago ascendente y válvula antiretorno.	126
Figura 77. Válvula de bola de PVC con casquillos roscados NPT	126
Figura 78. Motor de las Bombas de Cloración	127
Figura 79. Tablero de Control de las Bombas de Cloración, Lavado y Suministro	128
Figura 80. Protecciones de los Motores de Cloración	128
Figura 81. Tablero de Control de Válvulas de Cloración y Suministro	129
Figura 82. Vista general de la Unidad de Bombeo	177
Figura 83. Esquema General de la Unidad de Bombeo	178
Figura 84. Válvula Mariposa de la Unidad de Bombeo	185

Figura 85. Configuración de los impulsores en la Bomba Sulzer	186
Figura 86. Vista General de la Bomba Sulzer	187
Figura 87. Vista Frontal de la Bomba Sulzer	188
Figura 88. Válvula de Retención	190
Figura 89. Válvula de Bola de la Unidad de Bombeo	191
Figura 90. Sistema Hidráulico de apertura y cierre de la válvula	192
Figura 91. Sistema de refrigeración del motor	195
Figura 92. Principales componentes del motor de la unidad de bombeo	196
Figura 93. Esquema de la Conexión Eléctrica del Motor de la Unidad de Bombeo	198
Figura 94. Costos Generales Totales de Mantenimiento	230
Figura 95. Costos de Mantenimiento en las Plantas de Tratamiento	231
Figura 96. Costos de Mantenimiento por zonas	232
Figura 97. Costos de mantenimiento RCM	233
Figura 98. Tendencias de los Costos de Mantenimiento	236
Figura 99. Criterios del Análisis de Criticidad	242

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Parámetros de Funcionamientos de los Tanques	73
Tabla 2. Las Siete Preguntas Básicas de la Metodología RCM	81
Tabla 3. Equipos críticos en la Planta Bosconia - Tratamiento	104
Tabla 4. Equipos críticos en la Planta Bosconia – Estación de Bombeo	105
Tabla 5. Grupo de Revisión RCM del Sistema de Cloración	106
Tabla 6. Rombos de Seguridad del Cloro	108
Tabla 7. Propiedades Físicas y Químicas del Cloro	108
Tabla 8. Efectos en la salud por exposición al Cloro	110
Tabla 9. Partes Analizadas en del sistema de Cloración	111
Tabla 10. Ficha Técnica del Contenedor.	114
Tabla 11. Componentes de las Bombas de Cloración	125
Tabla 12. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro	130
Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua	143
Tabla 14. Hoja de Información – Cloración - Eléctrico	149
Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro	157
Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua	166
Tabla 17. Hoja de Decisión – Cloración - Eléctrico	171
Tabla 18. Grupo de Revisión RCM del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1	176
Tabla 19. Niveles de los Tanques de Almacenamiento e Hidroneumáticos	179

Tabla 20. Partes Analizadas en del sistema de la unidad de Bombeo N° 1	184
Tabla 21. Componentes de la Válvula Mariposa de Bombeo	185
Tabla 22. Componentes de la válvula de Retención	190
Tabla 23. Componentes de la Válvula de Bola	191
Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico	199
Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico	207
Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico	216
Tabla 27. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico	223
Tabla 28. Costos Generales Totales de Mantenimiento	230
Tabla 29. Costos de Mantenimiento en las Plantas de Tratamiento	231
Tabla 30. Costos de Mantenimiento por zonas	232
Tabla 31. Costos de equipos de mantenimiento predictivo	234
Tabla 32. Costos de análisis de lubricantes	235
Tabla 33. Criterio de Producción en el Índice de Criticidad	243
Tabla 34. Criterio de Calidad en el Índice de Criticidad	243
Tabla 35. Criterio de Mantenimiento en el Índice de Criticidad	244
Tabla 36. Cálculo del Índice de Criticidad	244
Tabla 37. Índice de Criticidad en la Planta Bosconia - Tratamiento	246
Tabla 38. Índice de Criticidad en la Planta Bosconia – Estación de Bombeo	250

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. CRITICIDAD DE EQUIPOS EN EL A.M.B S.A. E.S.P.	242

## RESUMEN

### TÍTULO:

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.\***

### AUTOR:

Ricardo Pulido Ramírez\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Análisis de Falla, Costo.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto fue fortalecer los vínculos de la universidad con el ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. aportando un análisis estructural y económico de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a equipos electromecánicos de la planta de tratamiento Bosconia, aplicado a los equipos de Cloración y Bombeo, para así utilizarlo como plan piloto para poder extenderlo en el resto de la empresa, mejorando condiciones de seguridad, medio ambiente y operativas dentro de la organización.

El proceso de análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se enfocó en el desarrollo de as 7 preguntas básicas del proceso RCM, realizado a los equipos seleccionados redactando funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas consignados en la hoja de información RCM, para luego evaluar estas fallas buscando las tareas de mantenimiento adecuadas consignadas en la hoja de decisión RCM, cumpliendo así con la norma SAE JA 1011 que establece los “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Después de llevar a cabo todo este proceso, se podrá proceder a la implementación de los planes de mantenimiento para dichos equipos.

El resultado es una metodología de gestión del mantenimiento que asegura que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados, obteniendo un mejor costo-eficacia de los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, buscando aprovechar al máximo en recurso humano con el cual cuenta la empresa nivel interno, capacitando personal y adquiriendo nueva tecnología.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ing. Isnardo González Jaimes. Codirector: Ing. Jolman Lozano Pico.

## ABSTRACT

**TITLE:**

**STRUCTURAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT OF BOSCONIA TREATMENT PLANT OF THE METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA SA E.S.P.\***

**AUTHOR:**

Ricardo Pulido Ramírez\*\*

**KEY WORDS:**

Reliability Centered Maintenance, Failure Analysis, Cost.

**DESCRIPTION:**

The objective of this project was to encourage ties between the university and the METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA S.A. E.S.P. providing structural and economic analysis Reliability Centered Maintenance (RCM) to electromechanical equipment Bosconia treatment plant, applied to the chlorination and pumping equipment, in order to use it as a pilot program to expand it in the rest of the company, improving safety, environment and management in the organization.

The analysis of Reliability Centered Maintenance Process was focused in the development of seven basic questions of the RCM process realized to the selected equipment, writing functions, functional failures, failure`s modes and effects recorded on the RCM sheet information, in order to evaluate these failures looking for the appropriate maintenance tasks contained in the RCM decision sheet complying the SAE JA 1011 standard which establishes the "Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance Process ". After carrying out this process, you can proceed with the implementation of maintenance plans for such equipment.

The result is a maintenance management methodology that ensures that the assets continue to perform the functions for which they were designed, obtaining a better cost-effectiveness of resources allocated to maintenance management, looking for take advantage of the internal human resources of the company, training personal and acquiring new technology.

---

\* Degree Work

\*\* Physical Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Director: Eng. Isnardo González Jaimes. Co: Eng. Jolman Lozano Pico.

## INTRODUCCIÓN

El ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. se ha caracterizado por ser una empresa líder, en especial por la calidad de la prestación de sus servicios, y es por esta razón que actualmente está catalogada como una de las mejores empresas de servicios públicos en el país. Sin embargo para poder mantener este nivel y mostrarse como una empresa solida es necesario estar realizando una mejora continua en los procesos realizados en cada uno de sus departamentos y divisiones. Las Coordinaciones de Mantenimiento Mecánico, Eléctrico y Electrónico no pueden ser ajenas a tal compromiso, y uno de los pasos a darse en tal proceso es el de pasar de un mantenimiento preventivo a uno centrado en confiabilidad, realizando en la empresa innovación tecnológica, mejorando así costos de mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad de los activos.

La estructuración de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es la fase inicial de una estrategia que podrá permitir a la empresa determinar las mejores políticas para administrar las funciones de los activos físicos y a su vez estudiar y administrar las consecuencias de sus fallas. Además la implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) tendrá opciones para la administración del mantenimiento como trabajos por condición, reparaciones programadas, y localización de fallas entre otras. Todo esto lleva a una mejor seguridad e integridad ambiental, a un mejor funcionamiento operacional en cuanto a cantidad, calidad del producto y calidad del servicio, a un mejor costo-eficacia del mantenimiento, mejorara la vida útil de los activos de la empresa , enfocado a obtener una base de datos global en la cual se lleva un registro extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos utilizados en la empresa, además de una mayor motivación de personal ya que se logra la comprensión del activo en su contexto operacional, y

mejor trabajo en equipo al proveer un lenguaje técnico fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento.

Para esto, en el comienzo del proyecto de grado, se decidió realizar en la planta de tratamiento Bosconia una estructuración de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) definiendo diferentes estrategias y procesos de mejoramiento, para optimizar el rendimiento del mantenimiento, realizar programas de mantenimiento, tomar decisiones en manejo de repuestos y materiales, tomándolo como proyecto piloto y así poder extenderlo al resto de la empresa.

Este proyecto está estructurado de la siguiente manera: el primer capítulo es una breve descripción del ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.; en el segundo capítulo se describe la planta de tratamiento Bosconia y los procesos que se llevan a cabo en ella. La teoría del análisis del proceso RCM se trata a profundidad en el tercer capítulo, en donde se describe como se responden cada una de las 7 preguntas básicas del proceso RCM; en el capítulo cuatro se muestra como se llevo a cabo el análisis estructural del proceso RCM en la planta de tratamiento Bosconia, tomando algunos equipos críticos como los que involucran la desinfección y bombeo del agua tratada para desarrollar el proyecto; y en el capítulo cinco se realiza un análisis de costos del mantenimiento preventivo en la empresa y que posibles costos hay en la implementación de RCM.

# **1. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.<sup>1</sup>**

## **1.1. RESEÑA HISTORICA**

La historia de la empresa empieza con las primeras formas para el suministro del agua como lo fueron las pilas, pesetas públicas y el acueducto de las "Tres Bes" (Bobo, Barril y Burro); en donde el aprovisionamiento del liquido vital para el consumo humano era necesario llegar a altas horas de la noche o en la madrugada con canecas, barriles, baldes o cualquier otro recipiente a sitios como Las Chorreras de Don Juan, Los Aposentos, La Payacuá, La Guacamaya, La Rosita, Envigado y Los Escalones y para el aseo personal y lavado de ropa se frecuentaban lugares como Las Piñatas, La Filadelfia, Quinta Cadena y La Mejor.

Hacia el año de 1916, Las Chorreras de Don Juan era el más importante sistema de Acueducto de Bucaramanga, donde el precio del agua variaba por las distancias, horas y cantidad, lo que no le permitía inicialmente a las personas de escasos recursos acceder a la posibilidad de contar con el preciado liquido indispensable para la subsistencia, y lo más grave aun que la ciudad se veía estancada tanto en su desarrollo urbanístico como en la actividad empresarial por el incomodo e insuficiente sistema de abastecimiento de acueducto.

Luego de grandes esfuerzos y peticiones ante autoridades departamentales y municipales, se promovido desde el año 1914, la constitución de la Compañía Anónima del Acueducto de Bucaramanga, que finalmente se da el 29 de Abril de 1916 y cuyo objeto social sería la construcción y explotación de un acueducto que suministrara agua a Bucaramanga, para un periodo de 50 años. Las Quebradas: El

---

<sup>1</sup> ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P., <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

Roble, El Brasil, El Puerto, El Volante, Los Hoyos, Campo Hermoso y Las Ranas, fueron las primeras fuentes que abastecieron los tanques del acueducto y a medida que se incrementaba la demanda se amplió la captación de las Quebradas Golondrinas, Arnania y el Río Tona.

Inicialmente el agua que se distribuyó en la ciudad no necesitó tratamiento alguno para el consumo humano, solo hasta 1940 se inició el tratamiento parcial del agua y en 1954 se implementó el proceso de tratamiento para obtener un agua de óptima calidad. Ante la necesidad de compensar la cobertura y calidad del servicio; la ampliación del canal de conducción, la planta de tratamiento, las redes de distribución y las tuberías matrices se hicieron simultáneamente con el crecimiento de la ciudad. En 1961 se inició la construcción de la Planta La Flora.

El Acueducto desde su constitución tuvo un capital ciento por ciento privado, hasta el 31 de diciembre de 1975 cuando se realizó la nueva reforma estatutaria que convertiría a la empresa en la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga - CAMB, sociedad de economía mixta su capital representado por acciones del sector público y privado.

En el año 1980 se iniciaron las actividades del Proyecto Río Suratá que consistió en la construcción de la Planta de Tratamiento de Bosconia que mediante el sistema de bombeo llevaba aguas tratadas del Río Suratá a la meseta de Bucaramanga, para lo cual, el Acueducto recibió la asesoría de técnicos del Brasil.

Desde 1995 la Empresa está llevando a cabo los estudios de factibilidad y diseños definitivos para la ampliación del Sistema General de Abastecimientos, el cual tiene como horizonte el año 2025 y que beneficiaría a una población de 1.600.000 habitantes, pertenecientes a los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Todo el sistema actual garantiza el abastecimiento del Agua demandada en el Área Metropolitana de Bucaramanga hasta el año 2025, para lo cual el Acueducto cuenta con dos conducciones en canal, primero captando a filo de agua los Ríos Tona y Frío mediante la utilización de las Plantas de La Flora, Morrórico y Floridablanca, y segundo con un sistema de bombeo del Río Suratá que suministra a la Planta de Bosconia.

Actuando con responsabilidad y previendo el futuro, el Acueducto contrató un estudio de prefactibilidad para la ampliación del sistema de abastecimiento, que arrojó como recomendación el aprovechamiento de los Ríos Manco, Oro y Hato, pertenecientes a la cuenca del Río Magdalena y las Quebradas Piedras Blancas, Umpalá y Guayabales en el Altiplano de Berlín, pertenecientes a la cuenca del Río Arauca.

Figura 1. Logo Actual del A.M.B. S.A. E.S.P.



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

## 1.2. MISIÓN

Somos una empresa de Servicios Públicos Domiciliarios que satisface las necesidades de nuestros clientes con Productos y Servicios de calidad, garantizando la conservación de los recursos naturales, generando rendimientos económicos para asegurar su crecimiento y contribuir al desarrollo y bienestar de la comunidad.

### **1.3. VISIÓN**

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga como empresa de carácter mixto, será una organización líder a nivel nacional en la operación, administración, comercialización y la prestación de servicios públicos domiciliarios con sus actividades conexas y complementarias; comprometidas con el Desarrollo Sostenible, generando valor empresarial y el reconocimiento de la comunidad.

### **1.4. ACTIVIDAD ECONÓMICA**

El ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. se dedica a la prestación de los servicios domiciliarios de acueducto y saneamiento básico, así como las actividades complementarias al mismo en las localidades que integran el área Metropolitana de Bucaramanga y demás municipios vecinos a los cuales se extienda la prestación de estos servicios, y, en general, en cualquier lugar del país o del exterior, que, por vía contractual, se convenga en esta gestión.

### **1.5. EXTENSIÓN GEOGRÁFICA**

#### **1.5.1. Edificio Comercial**

Figura 2. Edificio Comercial



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga se encuentra ubicado en la diagonal 32 N° 30a -51 Parque del Agua, Bucaramanga, en el edificio comercial se encuentra funcionando todo lo relacionado con servicio al cliente: peticiones, quejas y reclamos, registro y control de suscriptores, solicitud de matriculas; facturación: lecturas, liquidación, impresión y reparto; cobranzas (recaudo y cartera) y la atención técnica domiciliaria (medidores, suspensiones y reconexiones y revisiones).

### 1.5.2. Edificio Principal

Figura 3. Edificio Principal



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

Ubicado sobre el Tanque Principal de Almacenamiento de Morro, cuenta con un área total de 3.030 metros cuadrados, sobre dos pisos se construirán las Oficinas de la Gerencia General, Secretaria General, Gerencias Administrativa y Financiera, Proyectos, Operaciones y contará además con un amplio y moderno Auditorio.

### 1.5.3. Plantas de Tratamiento

- **Planta Bosconia:** Está localizada en la vía que conduce de Bucaramanga, al municipio de Matanza, al nororiente de la ciudad, entre las cotas topográficas 685 y 675 msnm.

Figura 4. Planta Bosconia



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

- **Planta La Flora:** Está localizada en la parte alta oriental de Bucaramanga en la zona de Morrórico, sobre la margen izquierda de la carretera que conduce a Pamplona, a la altura del kilómetro dos entre las cotas topográficas 1170 y 1195 msnm.

Figura 5. Planta La Flora



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

- **Planta Morrорico:** Está localizada al oriente de la carrera 33A entre la avenida Quebrada Seca y Calle 32 de Bucaramanga, entre las cotas topográficas 1050 y 1081 msnm.

Figura 6. Planta Morrорico



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

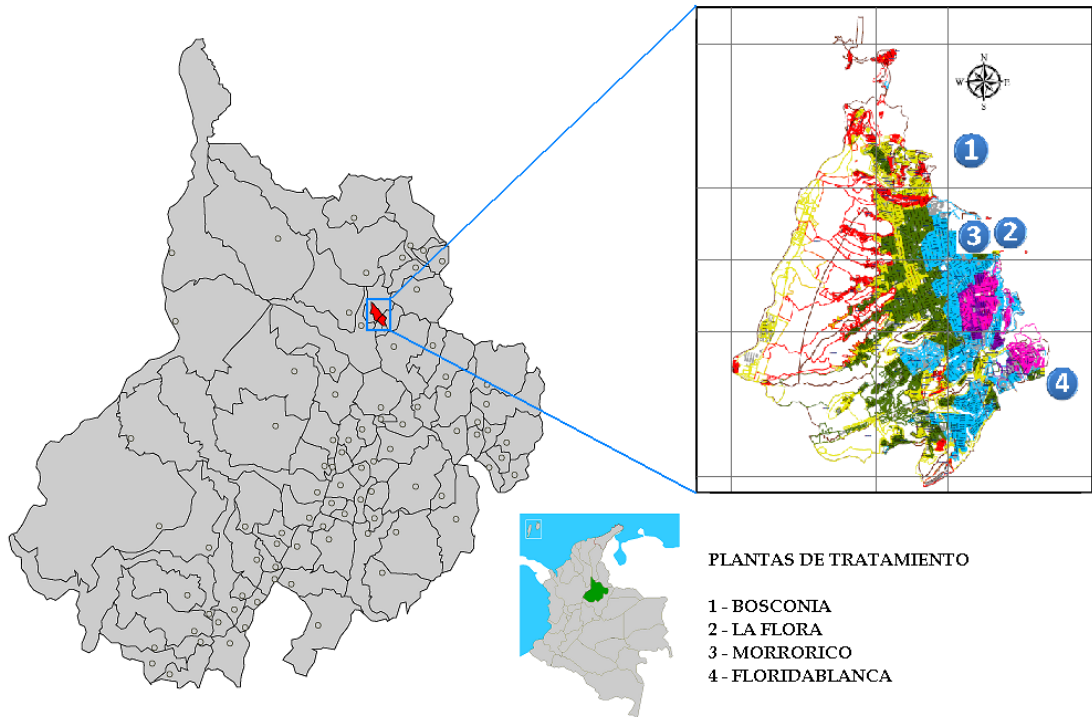
- **Planta Floridablanca:** Esta localizada en la zona suroriental del Área Metropolitana de Bucaramanga, en la parte alta de los barrios Bucarica y Caracolí del municipio de Floridablanca, a una altura media de 1042 msnm.

Figura 7. Planta Floridablanca



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

Figura 8. Ubicación Geográfica de las Plantas de Tratamiento



Fuente: El Autor

#### 1.5.4. Embalse Bucaramanga

El Embalse estará ubicado en Bucaramanga, a sólo 12 kilómetros del casco urbano, 600 metros aguas arriba de la confluencia de los ríos Tona y Suratá, en el sitio conocido como Puente Tona, en la vía Bucaramanga – Matanza. El proyecto comprende la construcción de una presa de 103 metros de altura, que almacenará un volumen de 17.6 millones de metros cúbicos y regulará un caudal de 1.000 litros por segundo, adicionales al sistema de acueducto, equivalente a una reserva de agua para tres meses de consumo. Así mismo, la obra está conformada por una planta de tratamiento de 1.200 litros por segundo de capacidad, una línea de aducción de 3.8 kilómetros y una línea de conducción en tubería de 1.2 metros de diámetro y de 15 kilómetros de longitud hasta el municipio de Girón.

## 1.6. FUENTES DE AGUA

El sistema actual del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga toma las aguas de los ríos Suratá (abastece la planta de Bosconia), Tona (abastece la plantas de La Flora y Morrórico), y Frío (abastece la planta de Floridablanca), con una capacidad de tratamiento de 2000, 1400 y 600 litros por segundo respectivamente. La primera fuente corresponde al sistema de bombeo y las dos últimas fuentes corresponden a sistemas por gravedad.

Figura 9. Ubicación Geográfica de las Fuentes de Agua



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

### 1.6.1. Fuente del Río Suratá

El río Suratá nace en el páramo de Monsalve y discurre en dirección Noreste-Suroeste por el estrecho cañón de las cuchillas de Magueyes y del Común para desembocar en el Río de Oro. Sus principales afluentes son los ríos Vetás, Charta y Tona, siendo este último el mayor aportante en área y caudal.

### 1.6.2. Fuente del Río Tona

El Río Tona nace entre los páramos de Pescadero y San Turbán del Macizo de Santander, la dirección general de su curso es Sur-Suroeste y sus principales afluentes son las quebradas Arnania, Golondrinas, El Roble, El Brasil, El Puerto, El Volante, Hoyos, Campo Hermoso y Ranas. La conducción a las plantas de Tratamiento de la Flora y Morrórico se realiza garantizando un caudal mínimo confiable de 750 l/s.

### 1.6.3. Fuente del Río Frio

Nace tres kilómetros al Oeste del Alto del Picacho, a una elevación cercana a los 2850 msnm y su cuenca aferente es de 11,9 km<sup>2</sup> hasta su desembocadura en el Río de Oro. Su curso, mucho menos pendiente que los anteriormente descritos, es originariamente Norte y en la Corcova se convierte en Suroeste.

## 1.7. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

Figura 10. Laboratorio de Control de Calidad



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

El laboratorio de Control Calidad cuenta con una red de monitoreo encargado de tomar muestras de agua en diferentes puntos del sistema de distribución del área Metropolitana, cubriendo los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, funcionando los siete días de la semana. Todas las muestras tomadas son

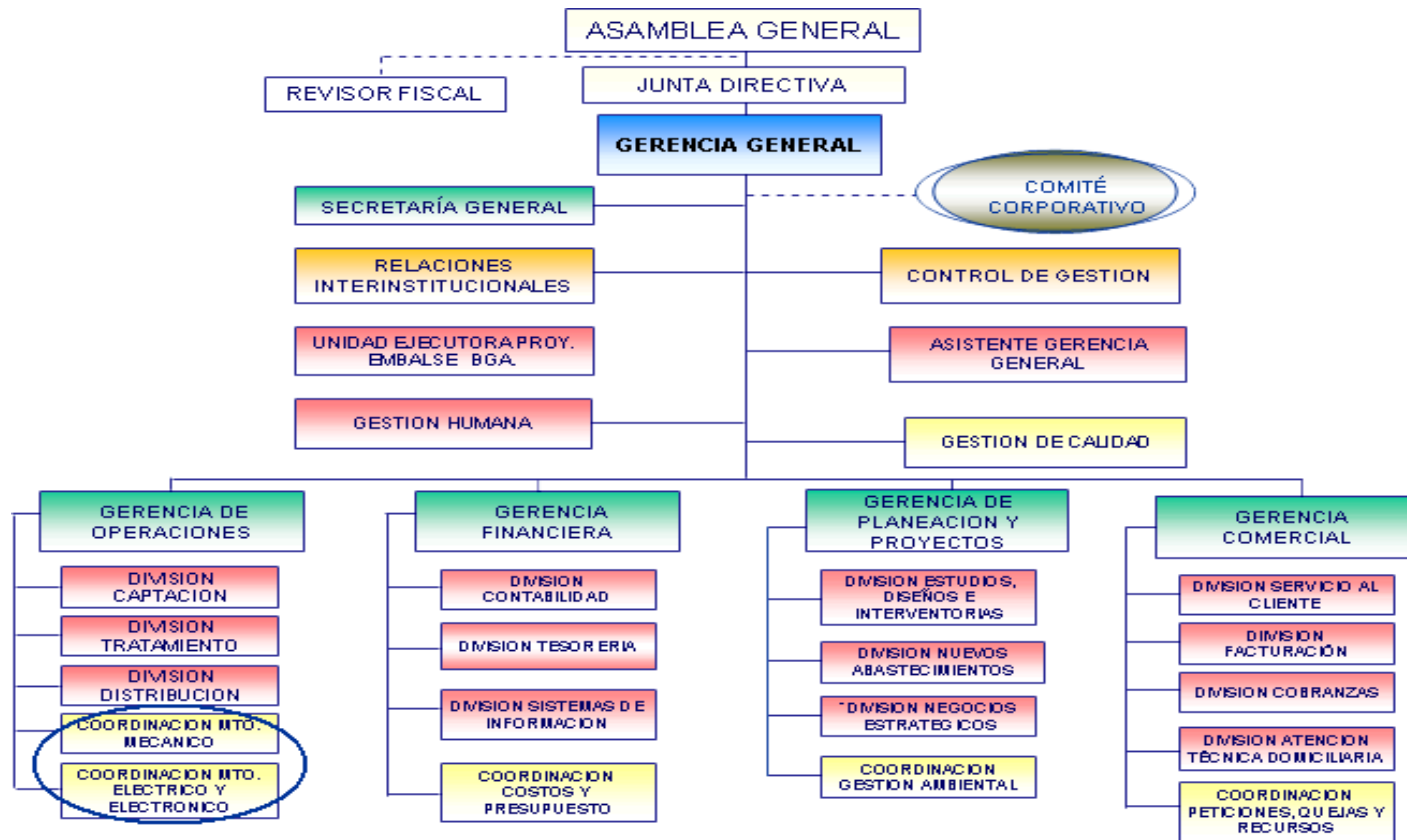
analizadas diariamente bajo unos estrictos controles de calidad que permiten demostrar y certificar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua consumida por los usuarios. Los parámetros evaluados corresponden a los establecidos en el Decreto 1575 de 2007 y en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y Vivienda y Desarrollo Territorial que reglamenta la calidad del agua potable en Colombia. Los parámetros evaluados diariamente son: pH, Color aparente, Turbiedad, Cloro residual, Aluminio residual, Coliformes totales, E. Coli y Recuento total en placa. Semanalmente se evalúan otros parámetros como son Hierro total, Dureza total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Nitritos y Nitratos. Semestralmente se evalúan los demás parámetros Fisicoquímicos establecidos en la Resolución 2115 de 2007, dentro de los cuales se encuentran los trihalometanos totales, con niveles dentro de los rangos de aceptación permitidos, y los pesticidas organoclorados y organofosforados, los cuales deben estar ausentes en todas las muestras de agua analizadas.

## **1.8. GESTIÓN AMBIENTAL**

Para el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, dada su especial vinculación con el medio ambiente y el uso de los recursos naturales, es de particular importancia orientar sus actividades hacia un manejo sustentable de su patrimonio forestal; y además que, las actividades y prácticas involucradas en cada etapa de la producción de la empresa se desarrollen buscando minimizar los impactos negativos que pudiesen generar al ambiente. La Coordinación de Gestión Ambiental está encaminada a integrar y mejorar el desempeño ambiental de la empresa y al desarrollo de todos los aspectos ambientales que se manejan tanto en el área rural, como en el área urbana.

## 1.9. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 11. Organigrama del A.M.B. S.A. E.S.P.



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. <[www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)>

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO BOSCONIA<sup>2</sup>

La planta de tratamiento Bosconia se encuentra localizada en la vía que conduce de Bucaramanga, al municipio de Matanza, al Nororiente de la ciudad y es abastecida por el Río Surata. La planta hace parte del proyecto Suratá, cuyos estudios fueron realizados en el año de 1980, y el cual se realizó con el objeto de ampliar el suministro al Área Metropolitana de Bucaramanga, con un horizonte de diseño al año 2000, el cual comprendió la construcción de:

- Captación del río Suratá
- Obras de Pretratamiento: tanques desarenadores y presedimentadores
- La planta de tratamiento de Bosconia
- Estación de Bombeo de agua tratada
- Subestación eléctrica
- Línea de impulsión y el sistema de redes
- Tanques para la distribución del agua a la ciudad

El proyecto río Suratá inició operaciones en agosto de 1984 aumentando en 2000 l/s la capacidad de producción mínima confiable del sistema completando una capacidad total de producción de la empresa a 3840 l/s, que servirán para atender la población del Área Metropolitana. La planta tiene una capacidad de 2000 l/s, y es del tipo convencional con tanques desarenadores, presedimentadores, mezcla rápida, floculación mecánica, sedimentación y filtración. En el siguiente diagrama esta el procedimiento que se aplica para el proceso de transformación del agua cruda en agua potable.

---

<sup>2</sup> A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008. P643.

Figura 12. Plano de la Planta de Tratamiento Bosconia



- 1) Captacion 2) Tuberia de Adección 3) Porteria 4) Unidades de Pretratamiento 5) Almacenamiento de Sulfato liquido  
6) Edificio de Quimicos y Laboratorio 7) Floculadores 8) Sedimentadores 9) Floculador N° 4 10) Sedimentador N° 4  
11) Filtros 12) Tanque de Almacenamiento de Agua Potable 13) Estacion de Bombeo 14) Subestacion Electrica

Fuente: El Autor

Figura 13. Procesos de Potabilización del Agua en la Planta Bosconia



Fuente: El Autor

## **2.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL RIO SURATA**

### **2.1.1. Estructura de Captación**

La estructura de captación de agua del Río Suratá está localizada sobre el cauce del río, en el sitio de la antigua Planta Eléctrica de Zaragoza, a unos 700 metros de distancia aguas arriba de la Planta de Tratamiento Bosconia. La captación tiene como función principal derivar del Río Suratá un caudal de hasta de 2400 litros por segundo, mediante una estructura de captación lateral regulada por tres compuertas radiales, que permite cumplir el propósito tanto en épocas de invierno como en períodos de estiaje.

En general la estructura de captación está compuesta por:

- Una estructura construida en hormigón fundido dividida en 4 secciones, la cual atraviesa el río transversalmente, con piso inferior o solera y un piso superior o de maniobra.
- En las tres primeras divisiones de la estructura se encuentran compuertas metálicas radiales encargadas de represar el agua de río y que son accionadas por motores eléctricos para control de niveles de agua en el río, los cuales están ubicados sobre el piso superior de la estructura.
- En la cuarta división de la estructura se encuentra un vertedero de excesos, por el cual pasa el caudal del río restante.
- Una caseta de Control, situada sobre la Cámara de Admisión, en la cual se encuentra el sistema eléctrico que permite la operación de las compuertas radiales. En el interior de la caseta también se encuentra la planta eléctrica de emergencia, marca Honda la cual tiene una potencia de 13.4 Kw.
- Una cámara de derivación la cual esta subdividida en dos compartimientos, el primero es la cámara de admisión de sección trapezoidal, situada a un costado

del río, en la cual se encuentran tres rejillas por la cual ingresa el agua represada del río. Esta cámara es la encargada de almacenar conducir el agua al segundo compartimiento que es la cámara de aducción. Esta es la que controla el flujo de agua hacia la Planta mediante la compuerta N° 1 colocada a la entrada a la misma, conduciendo el agua por el canal dirigido a la Planta.

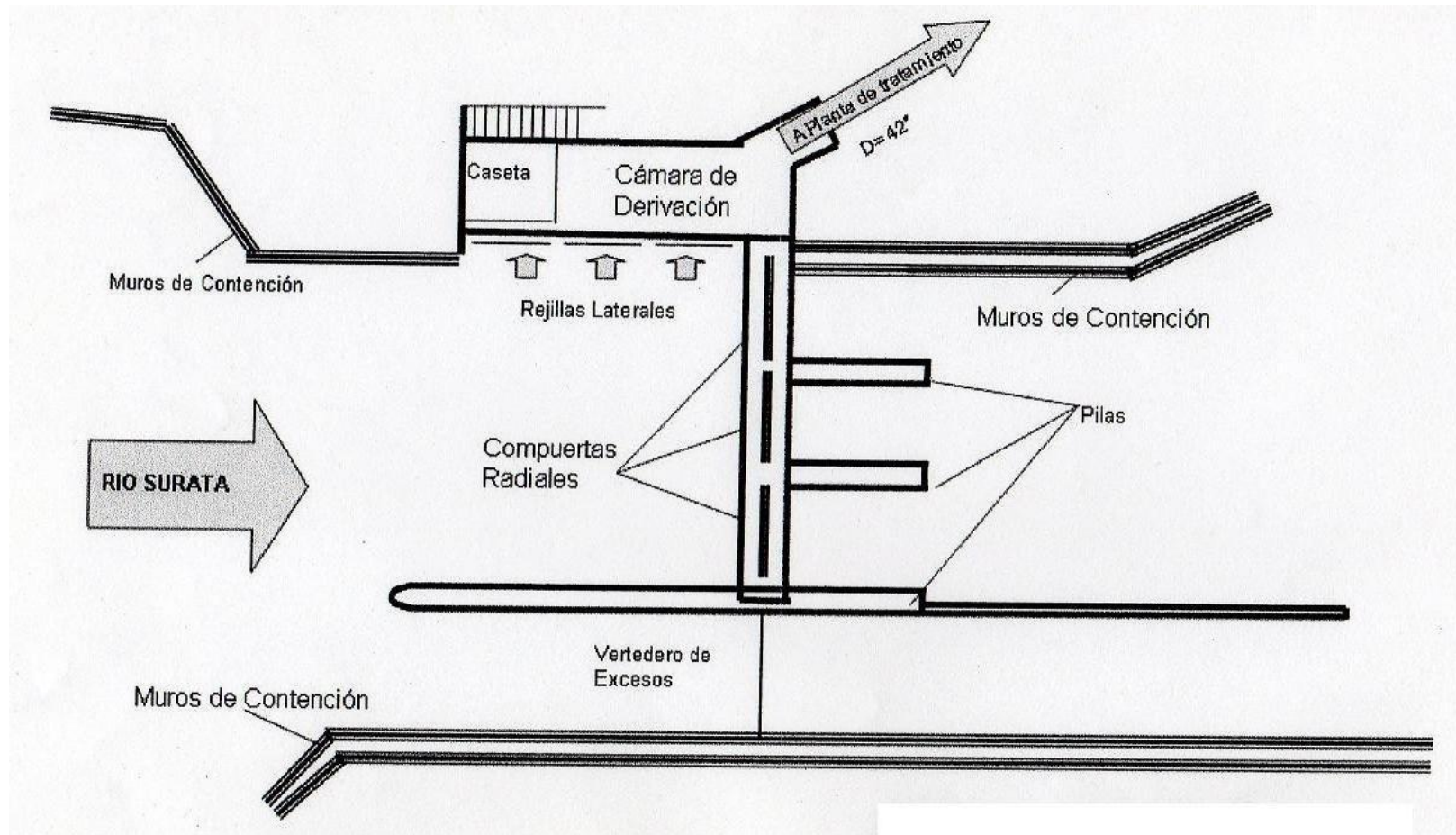
- Una cámara de Desagüe por la cual devuelve el exceso de caudal al río por medio de la compuerta N° 2.

Figura 14. Estructura de Captación, Compuestas Radiales y cámara de Derivación.



Fuente: El Autor

Figura 15. Estructura de Captación del Río Surata



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

### 2.1.2. Conducción Captación - Pretratamiento

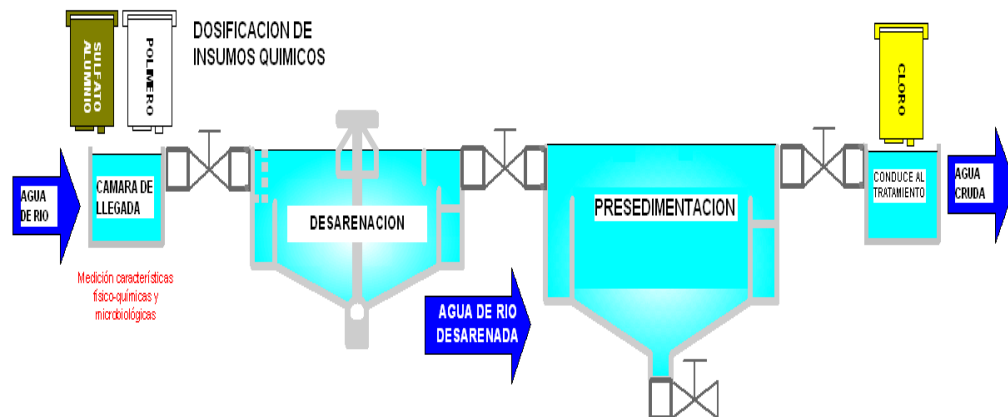
Este tramo de la línea de aducción se encuentra localizado entre la cámara de aducción en la captación y las estructuras de llegada a los desarenadores. Está compuesto por una tubería de 48 pulgadas de diámetro y de aproximadamente 344 m de longitud.

La función de esta conducción es la de llevar el agua cruda captada, desde la captación hasta las unidades de pretratamiento, en donde primero pasa por una cámara de quietamiento que hace parte de las estructuras de llegada a los desarenadores.

## 2.2. PROCESO E INSTALACIONES DE PRETRATAMIENTO

En las instalaciones de pretratamiento se llevan a cabo básicamente 3 procesos, la dosificación de químicos en la cual se dosifica sulfato de aluminio, polímero y cloro, desarenación y presedimentación los cuales permiten que el agua a tratar tenga mejores condiciones fisicoquímicas al entrar a la planta de tratamiento.

Figura 16. Esquema del Proceso de Pretratamiento



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.



- Una cámara de quietamiento o llegada, la cual cuenta con tres pantallas transversales consecutivas, con una abertura en el fondo, un vertedero de excesos que evacua el sobrante a través de un conducto de desagüe y la compuerta N° 3 para el desagüe de la cámara. Seguido de la cámara de llegada se encuentra un canal de proximidad
- La canaleta Parshall de 1.524 metros (5') de ancho en la garganta, con su respectiva cámara de medición de caudal provista de una reglilla graduada en l/s. Esta seguida de un canal de entrega a la cámara distribuidora de caudales a los dos desarenadores.

Figura 18. Canaleta Parshall de Pretratamiento



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

- Cámara distribuidora provista de las compuertas N° 4 y N° 5 para acceso a los desarenadores N° 1 y N° 2, respectivamente, y una tubería de 12 pulgadas, para desagüe de la cámara.

La dosificación de insumos químicos se realiza en la cámara de llegada ubicada al inicio del pretratamiento y tienen como principal función dar cumplimiento al Decreto 1594/84, para el pretratamiento del agua cuando las concentraciones de Mercurio en el agua de río sean mayores a 2.1 mg/l al igual que cuando haya presencia de Cianuro.

Figura 19. Equipos de Dosificación de Insumos Químicos



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

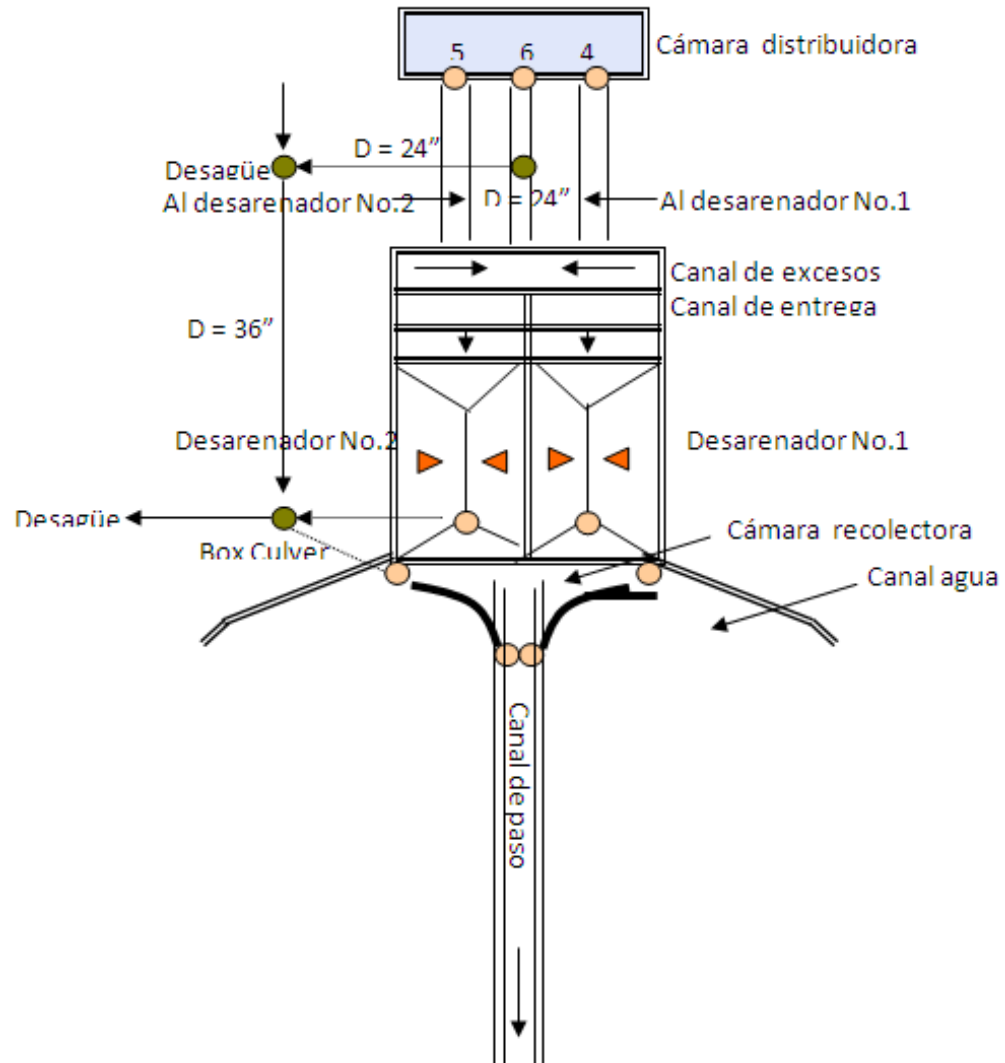
Si la concentración de mercurio en el agua de río es superior a 2.1 mg/l, se disminuye el caudal entre 600 y 1400 l/s, y se dosifica hasta un máximo de 120 mg/l de sulfato de aluminio granular y se ajusta la dosis de polímero floculante entre 0.08 y 0.12 mg/l. Si se detectan concentraciones de cianuro en el agua de río, se incrementa como mínimo al doble la escala de aplicación de cloro (Kg/día).

### 2.2.2. Desarenadores

Los desarenadores están localizados entre las estructuras de llegada de los mismos y los presedimentadores. Los desarenadores tienen como función principal remover, por gravedad, materiales grandes o pesados (piedras, arena, etc.) a fin de evitar su paso a la planta de tratamiento y también proteger los conductos contra la abrasión. Sus principales componentes son:

- Conductos de diámetro 36 pulgadas, para paso del agua desde la cámara distribuidora, controlado por las compuerta N° 4 y N° 5.
- Canal de entrega con vertedero de excesos y tabique difusor, para distribuir uniformemente el flujo a todo lo ancho del tanque.

Figura 20. Estructura de los Desarenadores



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

- Tanques desarenadores N° 1 y N° 2 y sistema de recolección de aguas desarenadas, consiste en un vertedero frontal a todo lo ancho de cada tanque y una cámara recolectora de aguas desarenadas.
- Sistema de desagüe y auto lavado, constituido por un canal recolector de arenas en cada unidad y conductos de salida controlados por las compuertas N° 7 y 8.

Figura 21. Tanques Desarenadores



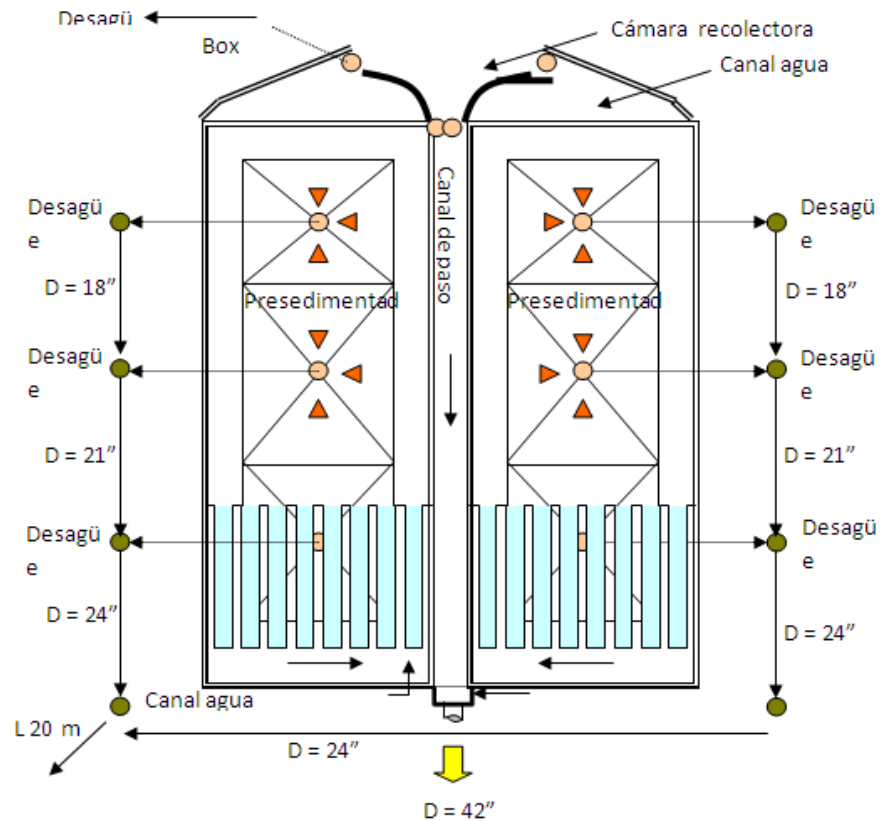
Fuente: El Autor

El agua llega desde la cámara distribuidora hasta el canal de entrega por la tubería de diámetro 36 pulgadas, pasa por el tabique difusor y se desplaza con flujo horizontal a lo largo del tanque, para salir luego por el vertedero transversal y caer en el canal de aguas desarenadas. Cada desarenador funciona de manera independiente. Las arenas que se depositan en el fondo de los tanques salen naturalmente por los conductos de desagüe, arrastradas por el agua que sale continuamente a través de las compuertas N° 7 y N° 8 de los desarenadores, las cuales permanecen total o parcialmente abiertas (a 30 cm del vástago, que equivalen aproximadamente a 300 l/s) para dar paso al caudal necesario para el auto lavado.

### **2.2.3. Presedimentadores**

Los tanques presedimentadores están ubicados entre los desarenadores y la línea de aducción a la planta de tratamiento. Dada la posición en que se encuentran a continuación de los desarenadores, su función consiste en complementar la acción de éstos, removiendo las partículas más finas y livianas, suficientemente pesadas para ser eliminadas por sedimentación simple (bajo condiciones hidráulicas favorables). Sus principales componentes son:

Figura 22. Estructura de Presedimentadores



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

- Dos canales de aguas desarenadas, uno para cada unidad, provistos de las compuertas N° 9 y N° 10 que regulan el flujo de entrada a cada presedimentador.
- Dos tanques presedimentadores que están provistos de tolvas en el fondo para la acumulación de lodos y sistema de recolección de agua presedimentada de cada unidad formado por siete canaletas colectoras de agua que descargan en el canal de aguas presedimentadas. Se localiza en el último tercio de cada tanque.

Figura 23. Presedimentadores



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

- Sistema de desagüe y extracción de lodos, constituido en cada unidad por tres conductos de 18 pulgadas de diámetro y las compuertas N° 13, N° 14 y N° 15 para el presedimentador No.1, y las compuertas N° 16, N° 17 y N° 18 para el presedimentador No.2, instaladas en el extremo de las pasarelas.
- Canal de paso directo entre el canal de aguas presedimentadas y la cámara de confluencia, localizado longitudinalmente entre los dos tanques. A su entrada están las compuertas N° 11 y N° 12, reguladoras del caudal.

El caudal de agua desarenada entra a los presedimentadores, avanza con flujo horizontal en sentido longitudinal a lo largo de cada tanque y es recogido en las canaletas colectoras ubicada al final. Estas lo descargan en el canal de aguas presedimentadas que lo llevan hasta la cámara de confluencia de caudales. En cuanto el agua va pasando a baja velocidad por los tanques, se va produciendo la sedimentación de las partículas, las cuales se depositan en el fondo para después ser sacadas, como lodos, por los conductos de desagüe. El lodo que se acumula en el fondo de los tanques se evacua trimestralmente abriendo las compuertas de desagüe y haciendo un lavado manual de los tanques.

La línea de aducción de agua a la planta se localiza entre la cámara de confluencia de caudales de agua presedimentada y la cámara de quietamiento o llegada a la planta, situada antes del canal de aforo y mezcla rápida. Esta conducción tiene la función de conducir el agua pretratada, desde los presedimentadores hasta la planta de tratamiento. Está compuesta por tubería de diámetro 42 pulgadas, de aproximadamente 300 metros de longitud.

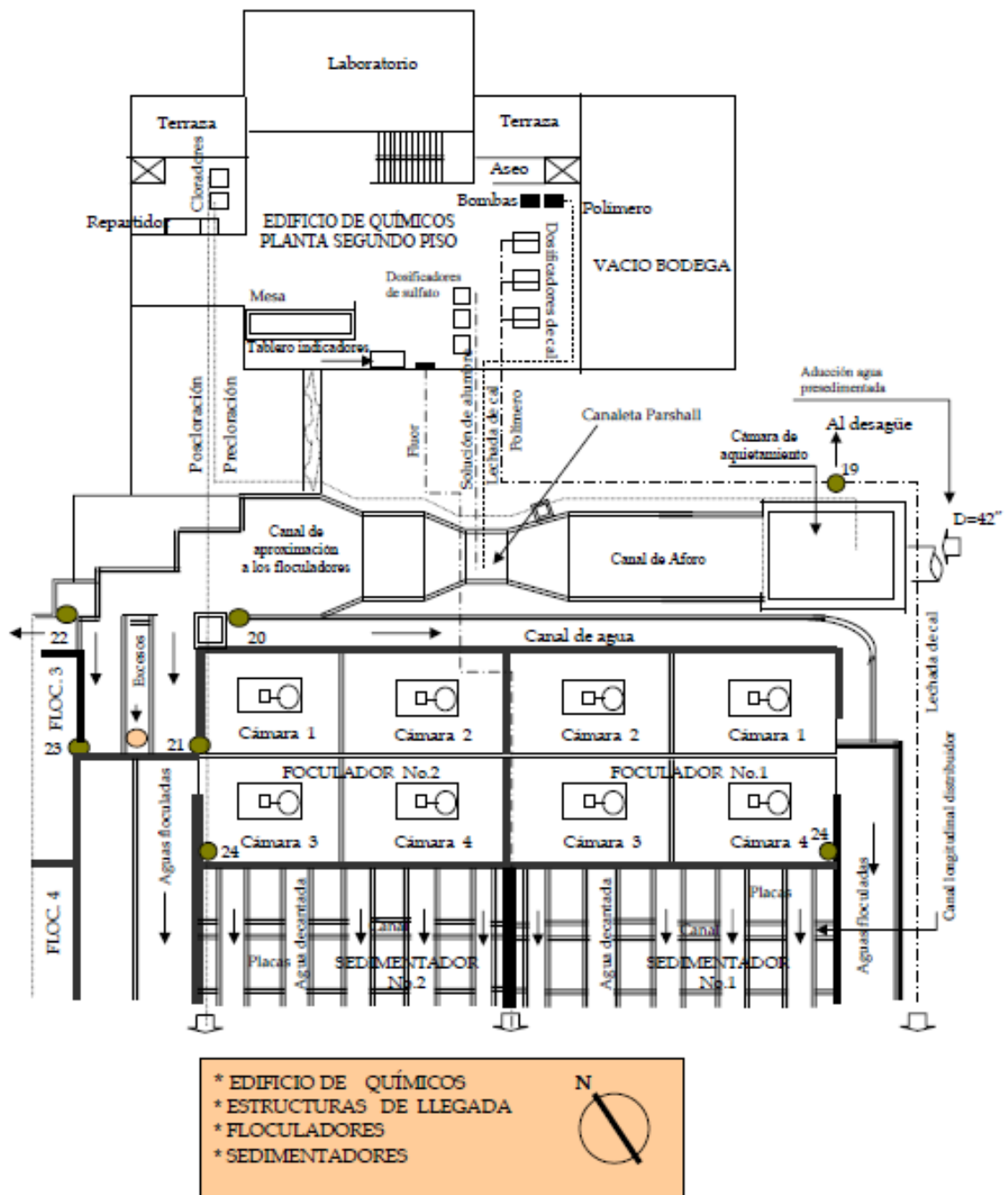
## **2.3. PROCESO E INSTALACIONES DE TRATAMIENTO**

### **2.3.1. Estructura de Llegada, Coagulación y Mezcla Rápida**

Las estructuras de llegada a la planta están localizadas entre el punto terminal de la aducción de diámetro 42 "en la cámara de quietamiento y los Floculadores, frente al edificio de químicos. Las estructuras de llegada están destinadas a recibir el agua proveniente de los Presedimentadores, para conducirla a los dispositivos de medición (sensores para medir caudal, pH y turbiedad), pasar por la mezcla rápida y finalmente conducirla hacia floculadores. Sus principales componentes son:

- Válvula N° 19 desagüe tubería conducción agua cruda a la planta de tratamiento.
- Cámara de quietamiento, provista de un desagüe para limpieza y control del caudal de entrada, controlado por la válvula N° 19.
- Canal de aproximación y distribución de caudales a los floculadores
- El paso de agua a los floculadores se controla por 4 compuertas.
- Un vertedero de excesos, que controla el nivel del agua y permite eliminar los excesos.

Figura 24. Estructura de Llegada, Edificio de químicos y Floculadores



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

Figura 25. Canal de Aproximación

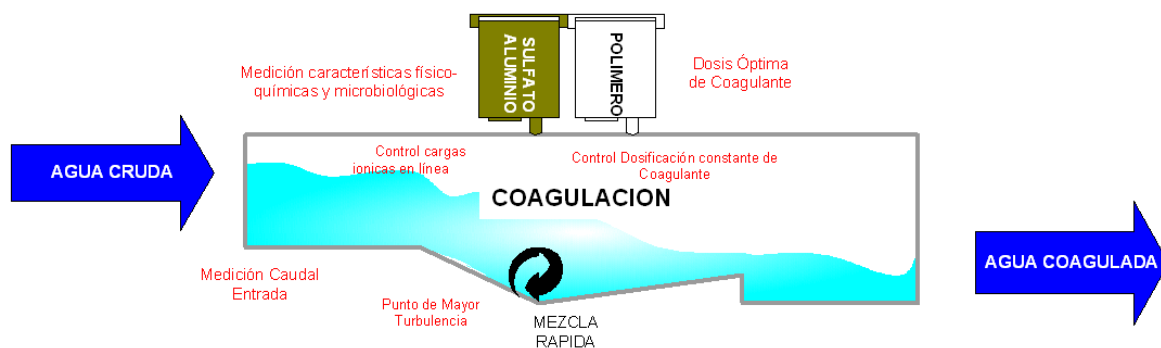


Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

El agua pretratada se desplaza con flujo ascendente por la cámara de quietamiento, continua por el canal de aforo donde, aprovechando el resalto producido por la canaleta Parshall, se hace la medición del caudal y se efectúa la mezcla rápida de los coagulantes. Finalmente es repartida a los Floculadores N° 1 y N° 2, mediante las compuertas N° 20, N° 21 y a los Floculadores N° 3 y N° 4 de la segunda etapa, mediante las compuertas N° 22 y N° 23.

El procedimiento de dosificación de coagulante tiene por finalidad aplicar al agua, continuamente, la cantidad de sulfato de aluminio o de otro coagulante, necesaria para obtener una dosis en miligramos por litro (mg/l) capaz de producir óptima coagulación de la turbidez y el color. La dosificación de coagulante, definida por la cantidad de miligramos por litro que debe adicionarse al caudal de agua en tratamiento, se determina con base en la información sobre el caudal a tratar y la dosis óptima de coagulante que corresponda, obtenida de la prueba de jarras.

Figura 26. Esquema del Proceso de Coagulación



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

El sulfato de aluminio puede ser de forma líquida o sólido que se diluye en una solución, preparada en tanques de disolución y dosificada por los equipos dosificadores para tal efecto. Para el caso del sulfato de aluminio líquido la dosificación se hace mediante las bombas dosificadoras, y para el caso de sulfato de aluminio en solución la dosificación se realiza por medio del dosificador de cangilones.

Figura 27. Edificio de Químicos y Equipos de Dosificación de Sulfato de Aluminio Líquido y en Solución



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

Continuamente, por todo el tiempo que sea necesario, se mantendrá en funcionamiento el sistema de dosificación:

- Determinando las dosis a aplicar.
- Preparando soluciones de coagulante
- Controlando las ratas de dosificación.

El procedimiento de aplicación de polielectrolito tiene por finalidad adicionar al agua un polielectrolito para que actúe como ayudante de coagulación en combinación con el sulfato de aluminio. Se emplea un polielectrolito catiónico, o polímero, en solución diluida. El proceso de aplicación de polielectrolito se realiza mediante la adición de Polímero Líquido al Agua que se va a tratar, este polímero es dosificado mediante regulación manual de la válvula de salida ubicada en el segundo piso por efecto de gravedad.

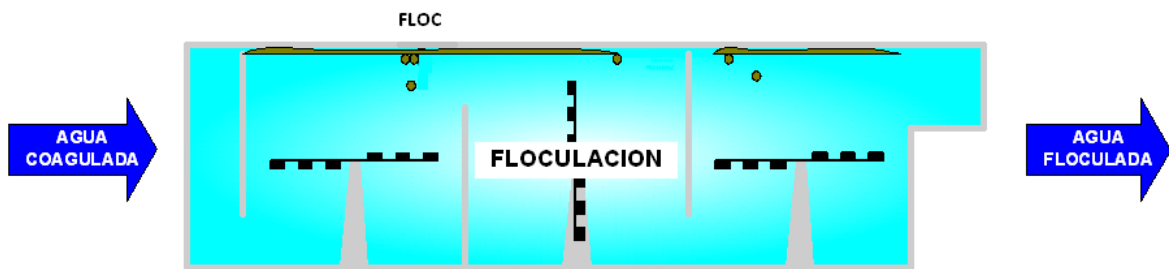
El procedimiento de mezcla rápida (dispersión) tiene por finalidad poner en contacto íntimo y mezclar de forma homogénea y continúa el coagulante aplicado, con la masa de agua en tratamiento, para lograr óptima coagulación y floculación de la turbiedad y el color. El proceso de mezcla rápida se realiza hidráulicamente mediante agitación del agua producida por la turbulencia y la energía cinética disipada en el resalto hidráulico que se produce en la canaleta Parshall y en el mezclador estático construido por nueve tabiques.

La solución de coagulante se aplica en la garganta de la canaleta, cayendo en chorros sobre la lámina de agua desde el tubo de alimentación o flauta, a través de orificios. Este procedimiento de mezcla rápida se ejecuta simultáneamente y conjuntamente con el de dosificación de coagulante.

### 2.3.2. Floculación

El proceso de floculación se realiza mediante el paso de agua por alguna de los cuatro floculadores provistos de agitadores de paletas de eje vertical, mediante los cuales se mantienen en suspensión los Floc's formados para que se aglutinen y acondicionen tornándolos aptos para su decantación. Esto se consigue mediante la agitación lenta del agua que pasa a través de ellos y que ha sido previamente coagulada. El agua una vez floculada es conducida con flujo horizontal a los tanques sedimentadores por intermedio de los canales de aguas floculadas (un canal de agua floculada por cada unidad de floculación).

Figura 28. Esquema del Proceso de Floculación



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

Los Floculadores están localizados entre las estructuras de llegada a la planta y los sedimentadores. Cuatro tanques de floculación cada uno dividido en cuatro cámaras que funcionan en serie provistas de agitadores de paletas de eje vertical en cada división (uno por cámara), y cada conjunto consta de cuatro juegos de paletas y es accionado por un motoreductor de 3 velocidades instalado sobre la pasarela del floculador. El flujo entre las cámaras se establece a través de un orificio rectangular debidamente dispuesto en los tabiques divisores de concreto.

Figura 29. Floculadores Mecánicos



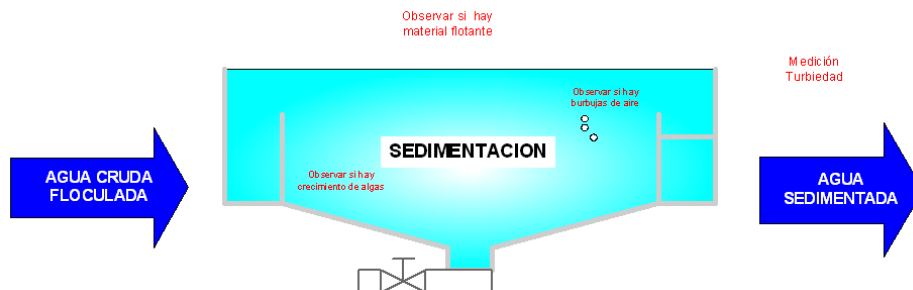
Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

Para el desagüe y limpieza de los tanques Floculadores, se abre la válvula de diámetro 10 pulgadas que se encuentra en el fondo de la última cámara y que descarga directamente en el canal de lodos.

### 2.3.3. Sedimentación

El proceso de sedimentación tiene por finalidad separar del agua los sólidos que se han aglutinado en Floc's en el proceso de floculación, permitiendo su decantación en el fondo de las unidades sedimentadoras. El proceso de sedimentación se realiza en las unidades sedimentadoras N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4 que están localizadas entre los Floculadores y la batería de filtros.

Figura 30. Esquema del Proceso de Sedimentación



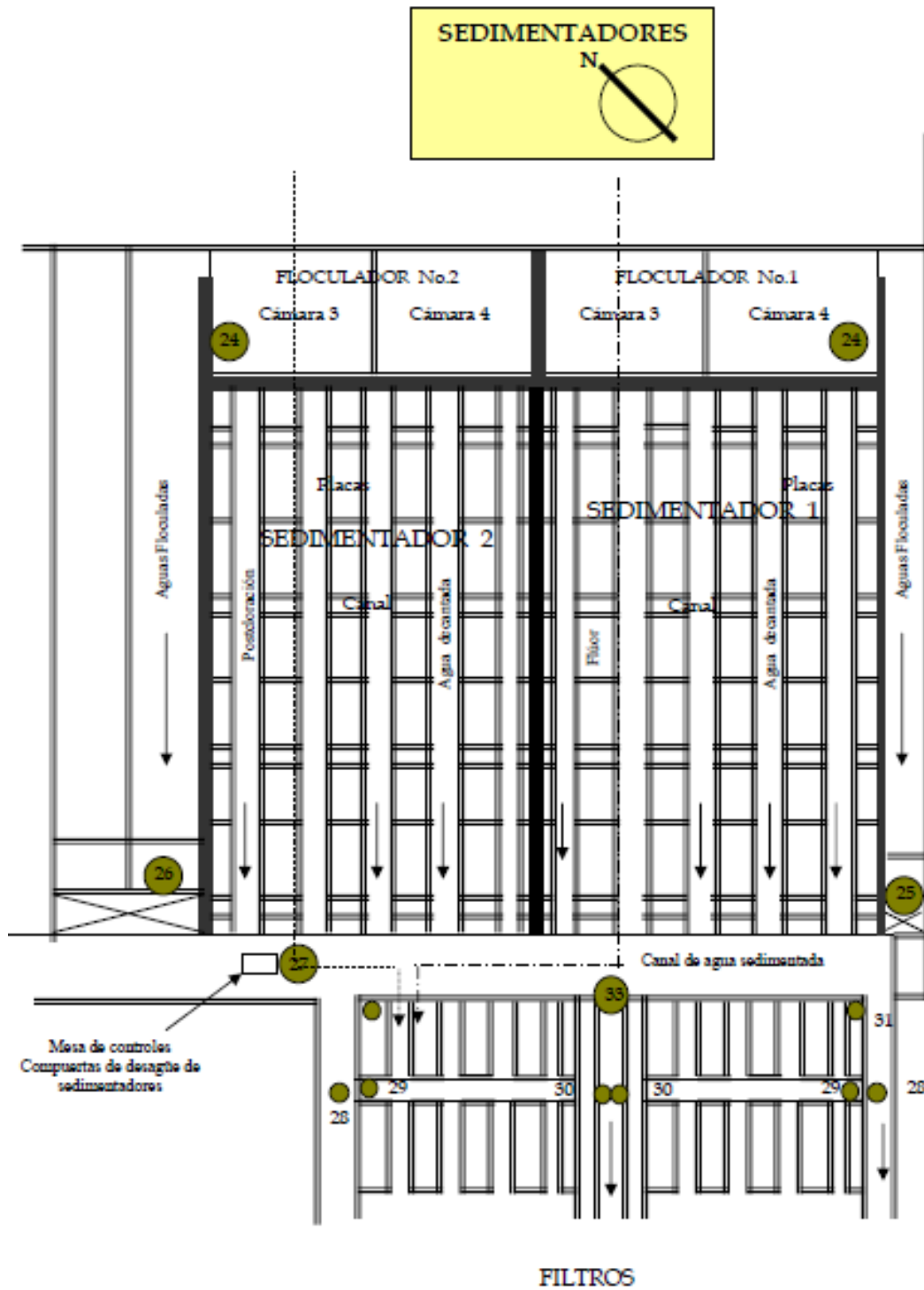
Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

El agua floculada entra a cada unidad por los canales longitudinales de cada uno de los módulos, pasa por los orificios del fondo del canal a la parte inferior de la zona de placas, asciende por entre los espacios libres entre placas hasta los vertederos, en donde es recogida en los canales recolectores que la conducen hasta el canal del agua sedimentada, desde el cual pasa a los filtros.

Los lodos decantados en el fondo de las tolvas se extraen, antes de que se compacten, abriendo las compuertas N° 25, N° 26, N° 27 y N° 28 de desagüe correspondientes a cada sedimentador. En general el proceso de sedimentación lo componen cuatro tanques sedimentadores de alta rata, divididos en cuatro módulos transversales independientes. Los módulos tienen cada uno capacidad para 125 litros por segundo, y constan de los siguientes elementos:

- Canal longitudinal central por donde ingresa el agua floculada.
- Filas de 169 placas inclinadas de asbesto cemento.
- Canaletas colectoras de agua sedimentada en cada sedimentador, colocadas transversalmente a los módulos, encargadas de recoger el agua que asciende por entre las placas y conducirla hasta el canal de agua sedimentada.
- Canal de agua sedimentada, que recibe el agua de las canaletas y la conducen hasta las baterías de filtros.
- Canales de recolección de lodos que salen por las canaletas triangulares. Están situados por debajo de los canales de agua floculada. La evacuación de los lodos se regula por medio de las compuertas de diámetro 24 pulgadas de accionamiento neumático, localizadas en los extremos de los canales de agua floculada.
- Mesa de comando de las compuertas de desagüe de las cuatro unidades de sedimentación.

Figura 31. Estructura de Sedimentadores



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

El agua floculada ingresa por el canal central longitudinal de los módulos y pasa por el fondo, a través de los espacios entre plaquetas, a la parte inferior de las zonas de placas; asciende por los espacios entre placas y es recogida en las canaletas recolectoras que la conducen hasta el canal de aguas sedimentadas. En el acceso por entre las placas se efectúa la separación de los Floc's, que se decantan por gravedad en las tolvas del fondo del Sedimentador.

Figura 32. Sedimentadores



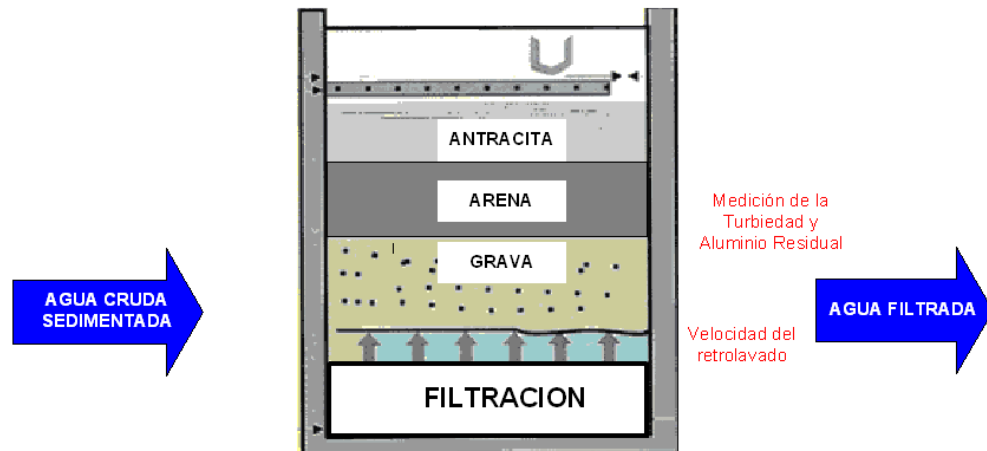
Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

#### **2.3.4. Filtración**

El proceso de filtración rápida tiene por finalidad remover del agua sólidos finos, impurezas y microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, mediante su paso a través de capas de materiales granulares.

El proceso de filtración se realiza en 2 baterías de 6 filtros cada una, ambas localizadas entre los sedimentadores y el tanque de almacenamiento de agua tratada, en el cual el agua fluye a través de los lechos filtrantes combinados arena antracita soportados por una capa de grava y un falso fondo constituido por viguetas triangulares con orificios.

Figura 33. Esquema del Proceso de Filtración

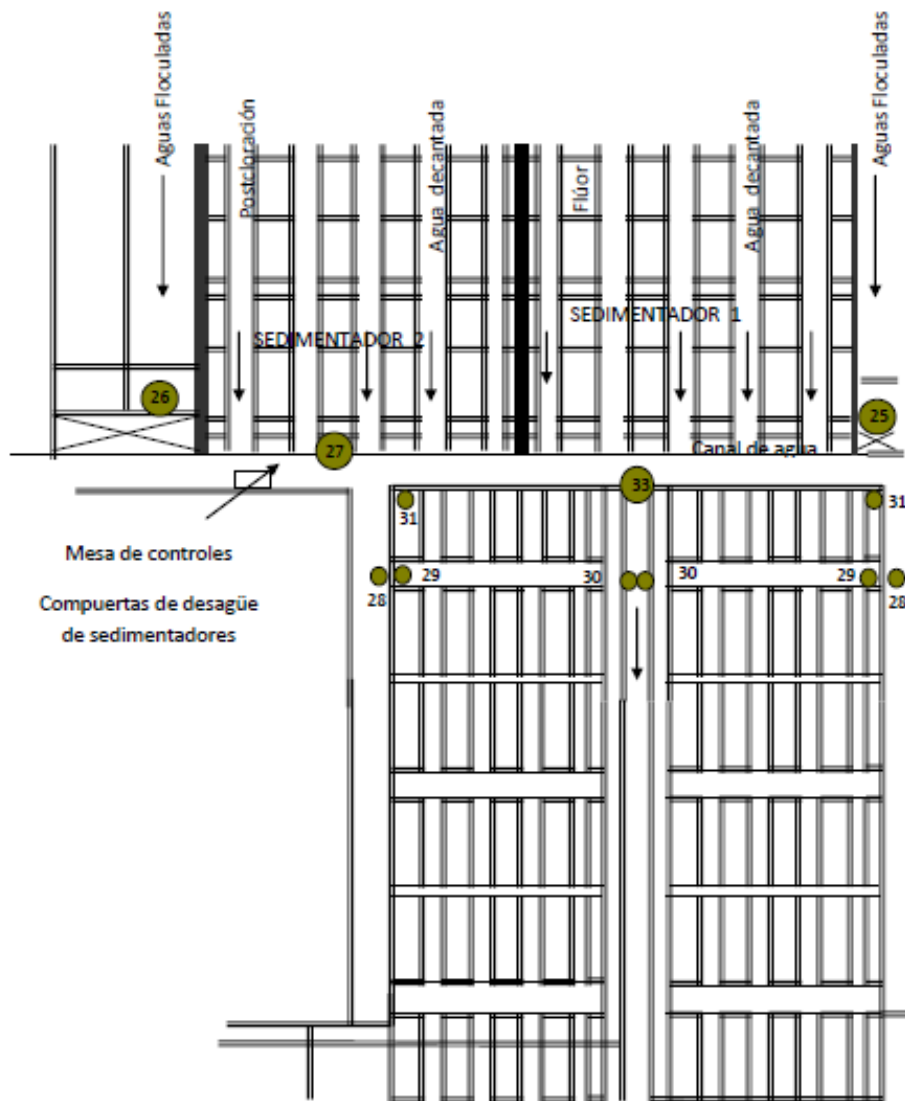


Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

Los filtros trabajan a tasa declinante y con sistema de auto lavado (lavado de una unidad con el agua filtrada por las demás filtros). Cada filtro tiene una capacidad nominal de filtración de 167 litros por segundo. Cada batería de filtros se compone de los siguientes elementos:

- Seis unidades filtrantes, cada una compuesta de dos celdas con un área filtrante total de 48.91m<sup>2</sup>.
- Tiene lecho filtrante formado por 2 capas: una superior de 0.45 metros de antracita y una inferior de 0.20 metros de arena, colocadas sobre una capa de 0.06 metros de arena torpedo la cual, a su vez, va sobre capas de gravas que le sirven de sostén y para distribución del agua para lavado.
- El agua filtrada a través del lecho filtrante se drena por el falso fondo, constituido por viguetas triangulares prefabricadas con orificios de descarga.
- Cada filtro tiene una cámara de salida del agua filtrada, provista de un vertedero.

Figura 34. Estructura de Filtros



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

- Cámara de interconexión o canal de agua filtrada. Cada canal de agua filtrada recibe el agua de su batería de filtros correspondiente por los vertederos de las cámaras de salida y suministra el agua para el retro lavado de los filtros.
- Cámara de control del nivel, localizada al final de las cámaras de interconexión, frente a las baterías de filtros y dentro del tanque de agua tratada. Está provista

de un vertedero de control, por el cual se vierte el agua filtrada por las baterías a la cámara de recepción del tanque de almacenamiento.

- Sistema de control de entrada y salida de agua de los filtros de accionamiento por cilindro neumático desde la mesa de control, por el cual se operan las compuertas que dan paso de agua sedimentada al filtro, las que evacuan el filtro y las de retrolavado.

Figura 35. Mesa de Control de Filtros



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

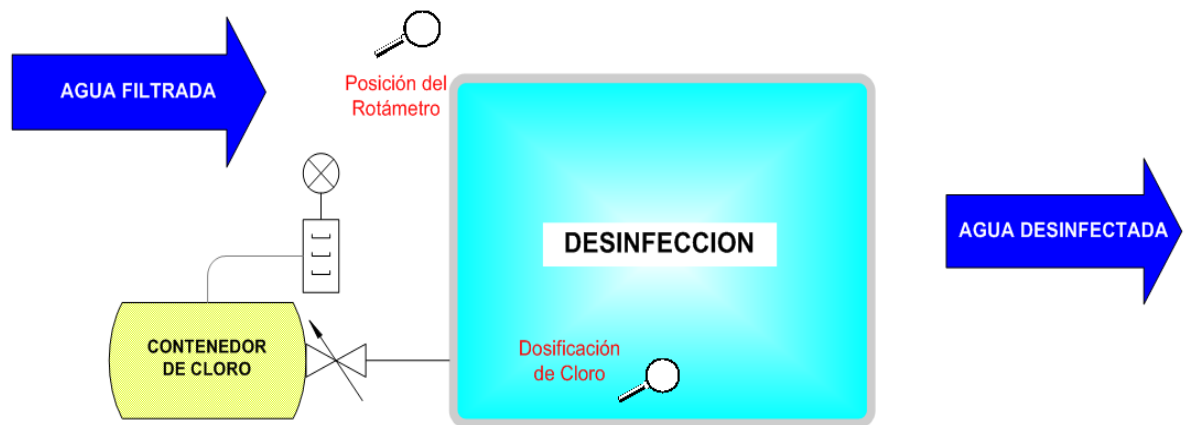
El caudal de agua sedimentada ingresa a los filtros regulado por las compuertas de accionamiento neumático, desciende a través del lecho filtrante y el falso fondo, pasa a la cámara de salida del filtro y de allí a la cámara de interconexión o canal de agua filtrada, por el cual va a la cámara de control de nivel en el tanque de almacenamiento de agua tratada. A medida que el agua va pasando por los filtros, estos se van saturando y la pérdida de carga va aumentando, lo cual causa un aumento del nivel del agua en los filtros y decrecimiento de la rata de filtración, hasta llegarse a la máxima altura de agua permisible. En ese momento se requiere

lavar una unidad, que será aquella con mayor tiempo de operación continua o la que este con menor rata de filtración.

### 2.3.5. Desinfección (Cloración)

El procedimiento de desinfección tiene por finalidad adicionar al agua en tratamiento la cantidad de cloro (o en casos excepcionales de otra sustancia desinfectante) necesario para destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua e inhibir su desarrollo en el sistema de distribución y las instalaciones domiciliarias.

Figura 36. Esquema del Proceso de Desinfección



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

El proceso de desinfección se lleva a cabo mediante la aplicación de dosis apropiadas de cloro gaseoso al agua filtrada. El cloro es suministrado en el Tanque de Almacenamiento y dosificado por medio de un clorador, con control manual de la escala.

Figura 37. Cuarto de Cloración

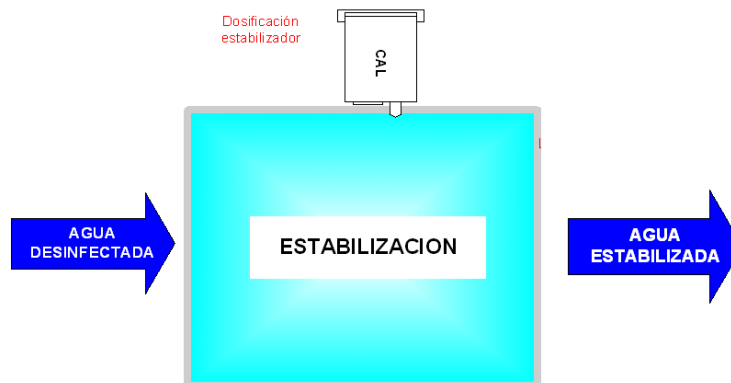


Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

### 2.3.6. Estabilización

El proceso de estabilización o corrección de pH tiene por finalidad alcalinizar el agua que ha recibido el tratamiento de coagulación, floculación, sedimentación, filtración, y desinfección llevando el pH a niveles que permitan controlar la corrosión de canalizaciones, válvulas y equipos metálicos, pero que no se produzcan incrustaciones en la red de Distribución.

Figura 38. Esquema del Proceso de Estabilización



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

El proceso de estabilización de pH se realiza mediante la adición de cal, aplicada en forma de solución, que se prepara en el tanque mezclador de cal y se dosifica por medio del dosificador, en cantidad suficiente para mantener el pH en un valor de la Norma Aplicable vigente.

Figura 39. Equipos del Proceso de Estabilización



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Manual de Operación de la Planta Bosconia, 2008.

### 2.3.7. Almacenamiento

El procedimiento de Almacenamiento tiene por finalidad mantener acumulado en el tanque un volumen de agua adecuado a las necesidades de regulación de los caudales de agua tratada en la planta y de bombeo al sistema de distribución.

Figura 40. Esquema del Proceso de Almacenamiento



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Proceso de Potabilización de Agua.

El manejo del almacenamiento consiste fundamentalmente en conseguir, mediante coordinación del caudal de tratamiento de agua en la planta y de bombeo a los tanques Estadio y Morrórico, que pueda mantenerse un nivel máximo de agua en el tanque durante la mayor parte del tiempo, mientras se está abasteciendo adecuadamente el sistema de distribución por el sistema de bombeo. El tanque de almacenamiento de agua tratada está localizado a continuación de las baterías de filtros, entre éstas y la estación de bombeo y entre sus funciones está:

- Recibir y almacenar el agua filtrada proveniente de las baterías de filtros.
- Permitir un adecuado tiempo de contacto entre el cloro y el agua.
- Servir de cámara de succión para el sistema de bombeo que impulsa el agua hasta los tanques de Estadio y Morrórico.

Sus principales componentes son:

- Tanque de almacenamiento de agua, con capacidad para 10.000 m<sup>3</sup>.
- Cámara de recepción de agua filtrada y aplicación de cloro situada entre las dos cámaras de control de nivel. El agua pasa al tanque a través de un orificio rectangular situado en el fondo de la cámara.
- Cámaras de succión de las bombas, localizada a un costado oriental del Tanque de Almacenamiento.
- Dispositivo de medición del nivel del agua en el tanque.
- Sistema de desagüe, consistente en un conducto de 24 pulgadas de diámetro.

El volumen de agua almacenada permite el bombeo de los 2,000 litros por segundo, durante aproximadamente 1.4 horas, sin abastecimiento desde la planta de tratamiento.

## 2.4. SISTEMA DE BOMBEO<sup>3</sup>

El conjunto de equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos que constituyen la estación de bombeo, impulsan el agua tratada del tanque de almacenamiento en la planta de Bosconia, a los tanques de distribución Morrórico y/ó Estadio.

La estación tiene una capacidad máxima de 2000 l/s y se integra por un conjunto de cuatro unidades de bombeo. Los componentes del sistema son las unidades principales de bombeo (motor y bomba), sistema de refrigeración, sistema de lubricación, unidad de llenado, tuberías, tanques de succión y descarga, sistema de protección contra el golpe de ariete, tableros de control y subestación eléctrica para la transformación de energía.

### 2.4.1. Unidades Principales de Bombeo

Figura 41. Vista General de la Unidad de Bombeo Principal



Fuente: El Autor

---

<sup>3</sup> A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia. P72.

La estación de bombeo Bosconia cuenta con cuatro bombas marca SULZER de eje horizontal y doble succión, con tres etapas modelo HPDM 350-555-3d y velocidad de operación nominal de 1790 r.p.m.

En condiciones críticas pueden operan máximo tres bombas en paralelo, entregando un caudal aproximado de 2000 l/s con una altura dinámica total de 396 m respecto al tanque de Morrórico. Una cuarta bomba permanece como reserva. Cada bomba está acoplada a un motor eléctrico, marca TIBB de 3780 Kw, 60 Hz, 4160 V.

#### 2.4.2. Sistema de Refrigeración

Figura 42. Sistema de Refrigeración

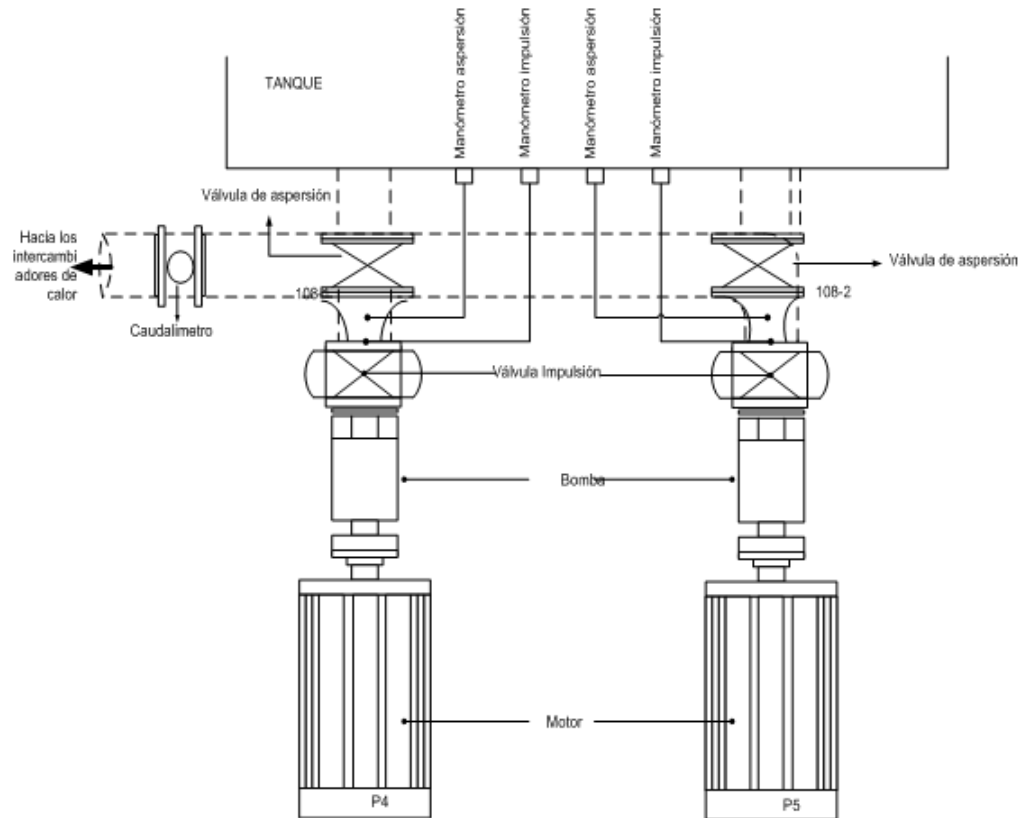


Fuente: El Autor

La función de este sistema es evitar el calentamiento excesivo de los motores acoplados a las bombas utilizando para tal fin el agua. El sistema de refrigeración el cual consta de:

- Dos conjuntos motor bomba de 22 kw con capacidad de elevación de 50 m alimentados a 440 V.

Figura 43. Esquema General del Sistema de Refrigeración



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia

- Dos válvulas manuales de 100 mm de diámetro, instaladas una en cada una de las tuberías de aspiración de cada bomba.
- Dos válvulas de impulsión manuales instaladas sobre las tuberías de impulsión de cada una de las bombas.
- Dos manómetros situados en la tubería de impulsión de cada una de las bombas y dos manómetros colocados en la tubería de succión de cada una de las bombas.
- Un tablero local (TCRE), para el control y operación.
- Un caudalímetro localizado sobre la tubería que va a los intercambiadores de calor.

### 2.4.3. Sistema de Lubricación

Para lubricar las unidades de bombeo se cuenta con tres motores de 1.1 Kw, dos de ellos de corriente alterna alimentados a 440 V y uno de emergencia de corriente continua alimentado a 125V. El sistema de lubricación cuenta con:

Figura 44. Unidades de Lubricación



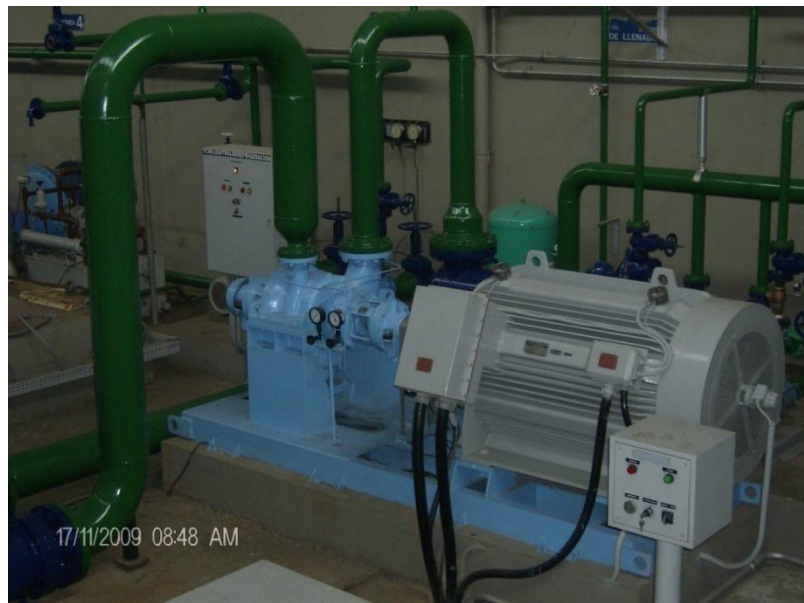
Fuente: El Autor

- Tres válvulas de aislamiento en el circuito de succión de la bomba.
- Tres motores acoplados con sus respectivas bombas.
- Un manómetro ubicado sobre la tubería de alimentación de aceite.
- Accesorios tales como: válvulas, manómetros, presóstatos, detectores de temperatura, flujos de aceite y agua.
- Un tablero eléctrico para el control y operación de las bombas de lubricación.

#### 2.4.4. Unidad de Llenado

Durante algunas operaciones especiales de mantenimiento del bombeo (o de los tanques de succión y descarga) es necesario desocupar la tubería de impulsión. Una vez terminado el mantenimiento se procede a llenar nuevamente la tubería por medio de una unidad de llenado. El llenado de la tubería tiene un tiempo de duración de siete horas hasta una altura de 300 m.c.a. La unidad de llenado consta de:

Figura 45. Unidad de Llenado



Fuente El Autor

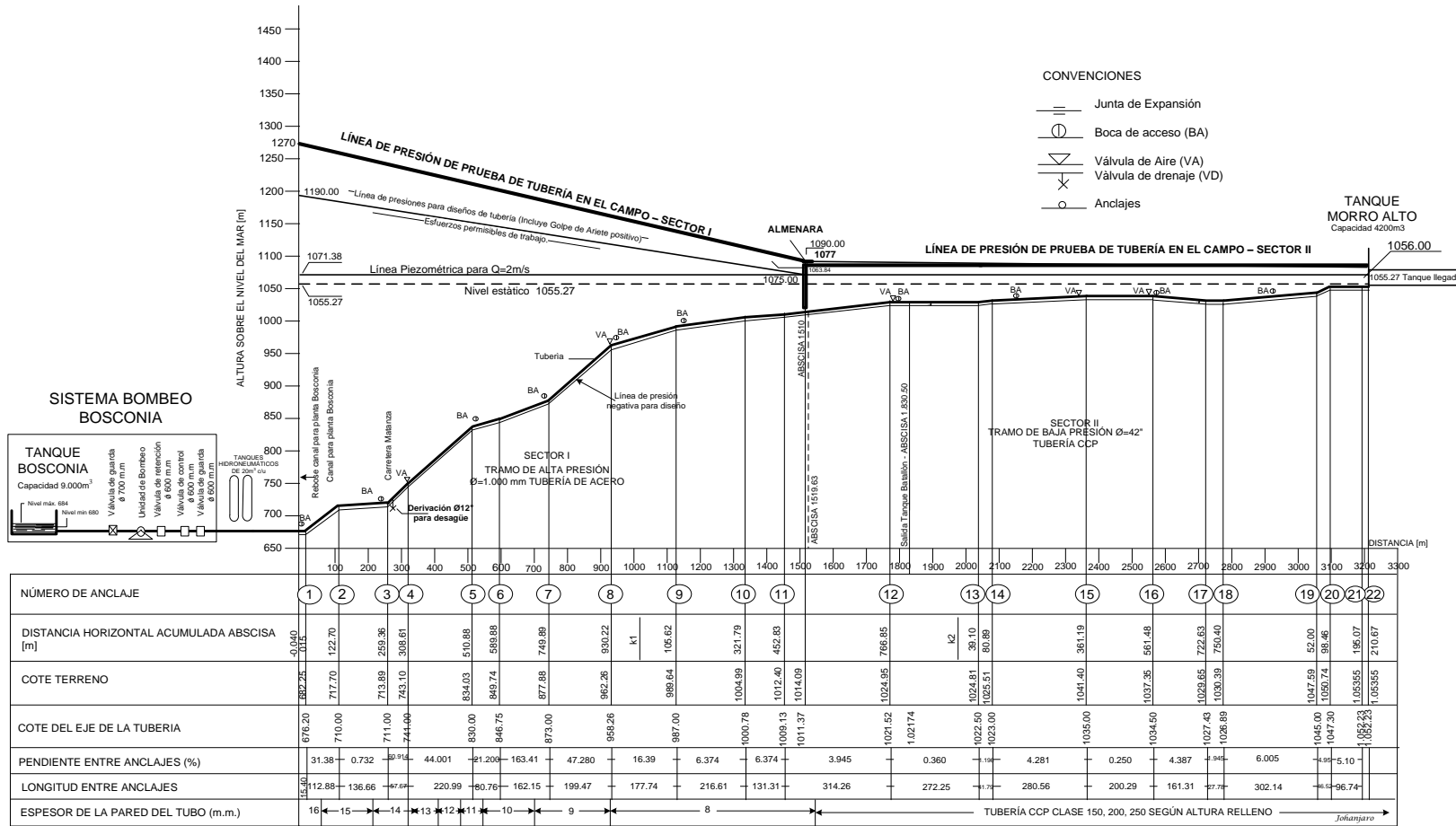
- Una válvula tipo compuerta marca ERHARD de aislamiento de accionamiento manual, 250 mm de diámetro ubicada sobre la tubería de aspiración. Sus finales de carrera, envían una señal eléctrica a los tableros de supervisión y control.
- Una bomba marca SULZER, de 252 m<sup>3</sup>/h de capacidad y 380 m de altura manométrica.

- Un motor eléctrico de eje horizontal BROWN-BOVERI tipo QUNG 500Kb2. Tiene un acoplamiento ARDEX NAN 215/250, con la bomba de llenado.
- Una válvula anular de retención, de 250 mm de diámetro, situada sobre la tubería de impulsión.
- Una válvula de compuerta de control manual, 250 mm de diámetro, instalada sobre la tubería de impulsión, con finales de carrera los cuales envían señales eléctricas a los tableros de supervisión y control.
- Una válvula de control manual de diámetro 250 mm, instalada sobre el by-pass de la bomba de llenado.
- Una válvula de control manual con émbolo de 250 mm de diámetro marca ERHARD, instalada sobre el by-Pass de la bomba de llenado.
- Dos grifos de ventilación, situados a cada lado de la bomba de llenado sobre las tuberías de succión e impulsión.
- Un tablero local (TLL) para el control y operación manual a la unidad de llenado.

#### **2.4.5. Tuberías de Succión, Descarga, Impulsión y tanques de Distribución**

El bombeo de Bosconia cuenta con tuberías de succión, descarga e impulsión. La tubería de succión de cada bomba está conformada por una tubería corta de acero de diámetro 900 mm, en la cual se encuentra instalada una válvula de guarda del tipo mariposa de diámetro 900 mm. Esta válvula permanece abierta durante la operación normal de la bomba y sólo se cierra para operaciones especiales de mantenimiento. Cada bomba descarga su caudal a una tubería de 600 mm de diámetro en acero al carbón.

Figura 46. Tubería de Impulsión del Sistema de Bombeo



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia

Las cuatro bombas de la estación descargan a un colector construido en acero y con diámetros de 600 mm, 800 mm, 1000 mm. Este colector entrega a la tubería de impulsión, la cual tiene una longitud aproximada de 3306 m, distribuidos en dos tramos.

- Tramo inicial que corresponde al tramo de alta presión con longitud de 1614 m, 1000 mm de diámetro, hecho en acero al carbón y espesor de lámina que va desde 16 mm hasta 8 mm. A final de este primer tramo, se conecta una almenara.
- Tramo final conformado por una tubería tipo CCP (American Pipe), el cual corresponde al tramo de baja presión y se encuentra en el sector de la meseta de Bucaramanga, comprendido entre la almenara (predios del Batallón Caldas) y el tanque de Morrórico. Tiene una longitud de 1692 m y un diámetro interior de 1067 mm.

Los tanques de succión y descarga están destinados a regular el suministro de agua a la ciudad y sirven como medio de control en el funcionamiento de las bombas.

Tabla 1. Parámetros de Funcionamientos de los Tanques

TANQUE	FUNCION	NIVELES DE OPERACIÓN [m]		CAPACIDAD [m <sup>3</sup> ]
		Mínimo	Máximo	
BOSCONIA	Succión	680	684	10000
ESTADIO	Descarga	1022,5	1027	8400
MORRO - ALTO	Descarga	1052,69	1054,89	4200

El tanque de almacenamiento de la planta de Bosconia tiene una capacidad de 10000 m<sup>3</sup> y sirve de succión al bombeo. La cámara de succión está construida dentro del tanque de almacenamiento, con 5 m de profundidad y su nivel de operación mínimo es de 680 msnm y máximo de 684 msnm. El nivel del tanque Bosconia se mide con una sonda hidrostática y se monitorea desde el centro de control SCADA ubicado en la planta de tratamiento de Morrórico.

#### **2.4.6. Sistema de Protección Contra el Golpe de Ariete**

La protección contra golpe de ariete consiste esencialmente en un sistema de tanques hidroneumáticos y una almenara.

Dos tanques hidroneumáticos que se conecta con la tubería de impulsión del bombeo a través de un ramal, el cual contiene un sistema que facilita el flujo de agua desde el tanque hidroneumático hacia la tubería de impulsión y lo restringe en sentido contrario. Los tanques se llenan de aire a presión mediante tres compresores de desplazamiento positivo enfriados por aire. La almenara que tiene diámetro interior de 1500 mm y una altura respecto al piso de 64 m.

#### **2.4.7. Tableros de Control**

Cada equipo eléctrico cuenta con un tablero de control que permite efectuar local o remotamente las operaciones de arranque o parada normales, con señalización y dispositivos necesarios para su operación. Se dividen en tableros de supervisión y control, maniobra y mando local.

#### 2.4.8. Subestación Eléctrica

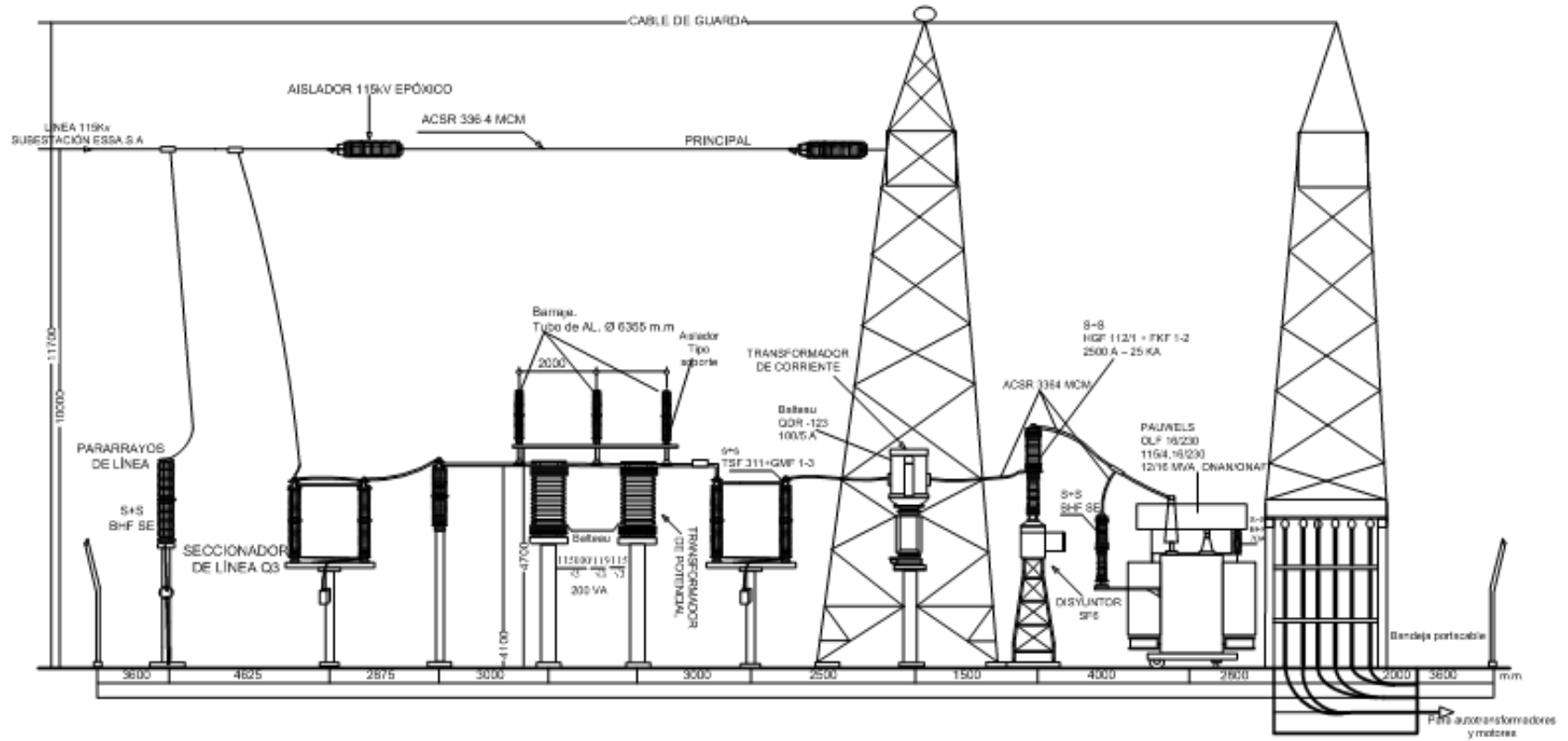
La subestación de Bosconia tiene como finalidad realizar el proceso de distribución y transformación de tensión de 115 kV a 4.16 kV. Tiene una capacidad de corto circuito de 4300 MW y corriente de corto circuito de 27.11 KA (en el lado de 115kV).

La subestación se alimenta a través de la línea de 115 kV (Palos - Bosconia) proveniente de la subestación Palos (ESSA S.A.). Tiene la posibilidad en caso de contingencia de ser alimentada desde la Subestación Florida. Cuenta con dos transformadores y potencia de 12/16 MW. Sin embargo la demanda del sistema sólo requiere de un (1) transformador para su normal funcionamiento.

Cuenta con transformadores de potencial para medida de tensión a  $115/\sqrt{3}$  kV y dos juegos de transformadores de corriente para cada uno de los transformadores con relación de transformación 100/5A.

El sistema de 4.16 kV, cuenta con barras independientes para cada transformador y posibilidad de acople entre las dos semibarras a través del interruptor de media tensión de 1250 A. La protección contra descargas atmosféricas se realiza a través de pararrayos de 115 kV ubicados en la llegada de la línea de alimentación, pararrayos a 4.16kV ubicados sobre cada transformador de potencia y un cable de guarda sobre el pórtico de la subestación.

Figura 47. Esquema de la Subestación Eléctrica Bosconia



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia

### **3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)<sup>4</sup>**

#### **3.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL RCM**

La historia del mantenimiento está marcada por la tecnología y el grado de complejidad de los activos y procesos, es por esto que hasta la segunda guerra mundial la industria no estaba altamente mecanizada, por lo tanto el tiempo de parada de las maquinas y la prevención de fallas en los equipos no era de mayor importancia, ya que se contaban con equipos simples y sobredimensionados, esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Las tareas de mantenimiento se enfocaban solo a una limpieza de rutina y lubricación.

El comienzo de la segunda guerra mundial aumento la demanda de bienes y servicios, lo que produjo un aumento en la cantidad y complejidad de la maquinas en la industria, lo que hace que las organizaciones comenzaran a depender del estado de los activos. Gracias a esto nace el concepto de mantenimiento preventivo el cual consistía en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados para prevenir las fallas y mejorar la confiabilidad operacional de los equipos. Este concepto se basa en el supuesto se basa en la creencia intuitiva de que, debido a las piezas mecánicas se desgastan, la fiabilidad de los equipos está directamente relacionada con la edad de funcionamiento. El único problema era determinar qué límite de edad era necesario para asegurar la operación confiable. Todo esto llevo a aumentar el costo del mantenimiento, por lo que hubo la necesidad de crear sistemas de planeación y control para la organización de este. A mediados de la década de los 60's investigaciones y análisis de datos obtenidos en los activos muestran que cada vez existía menos conexión entre la edad de la mayoría de los

---

<sup>4</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2 ed. Lutterworth, Aladon Ltd., 2004. P322.

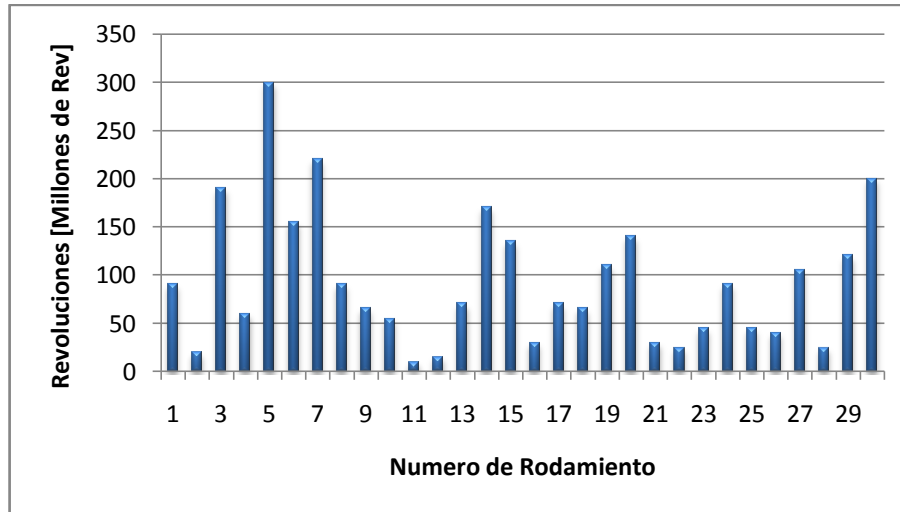
activos y la probabilidad de que estos fallen, lo cual demostró que existen fallas que no se podían prevenir sin importar la intensidad del programa de mantenimiento. Esto tenía una gran incidencia en la producción, los costos operacionales y el servicio al cliente, además que algunas de estas fallas afectaban la seguridad, la calidad y el medio ambiente, para lo cual las organizaciones se enfocaban más a obtener mayor disponibilidad y confiabilidad en los equipos.

Algunas de las organizaciones más afectadas con las prácticas de mantenimiento preventivo eran aerolíneas comerciales las cuales estaban sufriendo alrededor de 60 accidentes por cada millón de despegues. Para poder contrarrestar esto comenzaron a diseñar aviones tolerantes a las fallas, con técnicas como duplicación de sistemas, uso de varios motores y diseño de estructuras resistentes al daño. Pero una cuestión importante sigue siendo, sin embargo, la relación entre el mantenimiento programado y la confiabilidad, lo cual, como ya se enuncio antes en muchos casos el tiempo de vida de los componentes no tiene relación con la probabilidad de fallas en los equipos. La Figura 48 muestra la distribución de fallos de un grupo de treinta rodamientos rígidos de bolas 6309 que se instalaron en la máquina de prueba de vida, utilizando procedimientos estándar. La amplia variación en la vida del rodamiento se opone a la utilización de cualquier tiempo efectivo basado como estrategia de mantenimiento. Para estudiar esto en 1960 se formo un grupo de trabajo entre la Agencia Federal de Aviación (AFA), las aerolíneas y los fabricantes llamado “Grupos de Dirección de Mantenimiento - MSG” para estudiar la capacidad del mantenimiento preventivo el cual condujo al establecimiento del Programa de Confiabilidad de AFA-Industria dando como resultado dos conclusiones:

- El reemplazo programado tiene poco efecto en la confiabilidad total de un equipo complejo a menos que el mismo tenga un modo de falla dominante.

- Existen muchos equipos para los cuales no existe una forma efectiva de mantenimiento programado.

Figura 48. Prueba de Tiempo de Vida de Rodamientos



Fuente: NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008.

En 1965 se intenta organizar lo aprendido en los programas de confiabilidad para el diseño de mantenimiento preventivo, para luego elaborar una técnica rudimentaria de decisiones de mantenimiento, posteriormente se refino para formar un manual de desarrollo y evaluación de programas de mantenimiento enfocado hacia el programa inicial del avión Boeing 747, este informe se llamo MSG-1 y fue el primer plan de mantenimiento basado en los principios RCM. Un segundo documento mejorado llamado MSG-2 se llamo “Documento de los Fabricantes de Aviones para el Planeamiento de un Programa de Mantenimiento”. A mediados de los años 70’s el Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos encarga a United Airlines elaborar un informe sobre los procesos realizados en la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento, dicho informe fue realizado por Stanley Nowlan y Howard Heap y fue titulado “Reliability Centered Maintenance” (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) el

cual fue publicado en 1978 el cual actualmente es una de las bases más importantes en el manejo de activos en organizaciones.

En 1980 se produjo el MSG-3 el cual es el documento que hoy guía el desarrollo de programas de mantenimiento para nuevos aviones comerciales. Paralelamente a este proceso se desarrollaron en el Instituto de la Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI) y en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrollaron por separado programas de RCM aplicados a las plantas de energía nuclear, ejército, fuerza aérea y armada respectivamente. Con esto surgieron innumerables procesos con el nombre de RCM, muchos de los cuales tenían poca relación con la investigación de Nowlan y Heap. Para controlar esto se creó el estándar SAE JA 1011 nombrado "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Este muestra los criterios con los cuales se puede comparar un proceso, si el proceso satisface dicho proceso se le considera RCM, en caso contrario no lo es. Este proceso dio origen a nuevas técnicas para la toma de decisiones como el Análisis Causa Raíz (RCA), Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE) y Sistemas expertos, así como técnicas de mantenimiento basado en la condición (CBM).

### **3.2. DEFINICIONES BASICAS DE RCM**

Antes de formular la teoría y fundamentos básicos del proceso RCM es conveniente dar algunas definiciones que resultan claves para poder comprender los conceptos dados posteriormente.

Según John Moubray<sup>5</sup>, Mantenimiento es la capacidad de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan y Mantenimiento

---

<sup>5</sup> Ibid., p. 68

Centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional. Otra definición para RCM según la SAE<sup>6</sup>, es un proceso específico usado para identificar políticas, las cuales tiene que ser implementadas para manejar modos de fallos los cuales pueden causar pérdida de la función de cualquier activo físico en el contexto operacional dado. Otras definiciones son la de Disponibilidad, que es la probabilidad de que el equipo opere satisfactoriamente en el momento que sea requerido bajo condiciones estables de funcionamiento, y Confiabilidad, que es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales fue diseñado, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones de operación dadas.

### 3.3. TEORÍA Y FUNDAMENTOS BASICOS DEL RCM

Tabla 2. Las Siete Preguntas Básicas de la Metodología RCM

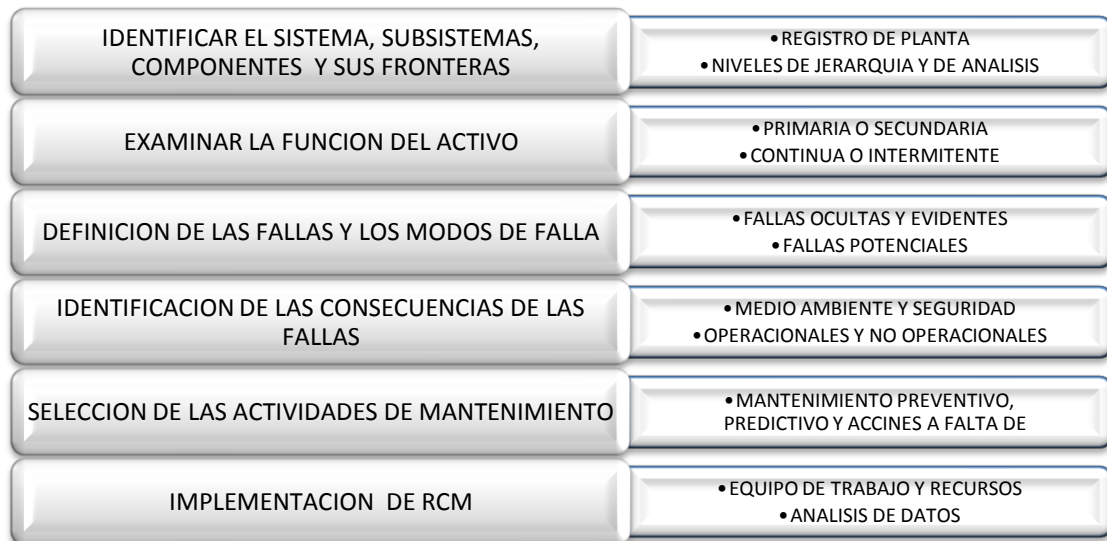
LAS SIETE PREGUNTAS BASICAS DE LA METODOLOGIA RCM		
Nº	PREGUNTA	TECNICA UTILIZADA
1	¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	AMFE
2	¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	AMFE
3	¿Cuál es la causa de cada falla funcional?	AMFE
4	¿Qué sucede cuando cada falla ocurre?	AMFE
5	¿En qué sentido es importante cada falla?	AMFE
6	¿Qué se puede hacer para predecir y prevenir cada falla?	DIAGRAMA DE DECISION
7	¿Qué debo hacer si no puedo predecir o prevenir las fallas?	DIAGRAMA DE DECISION

<sup>6</sup> SAE JA 1011, Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 1999.

El objetivo de cualquier modelo de gestión de mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos con costos aceptables dentro de la organización, permitiendo que dichos activos funciones de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. Para lograr el proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar, donde cada una de ellas se centra en la relación entre las organizaciones y los activos físicos que la componen, en la Tabla 2 podemos observar las preguntas y las técnicas para darle respuesta tales como Análisis de Modo de Falla y Efectos y Diagrama de Decisión RCM.

Para lograr aplicar cada una las herramientas utilizadas para efectuar un proceso RCM es necesario llevar una serie de pasos en los procesos a realizar como la definición del sistema, determinación del nivel de análisis, identificación de los modos de falla, selección de las actividades de mantenimiento necesarias dentro del mantenimiento, y la implementación del equipo de RCM determinando equipo de trabajo y recursos físicos (ver figura 49).

Figura 49. Diagrama de Flujo RCM

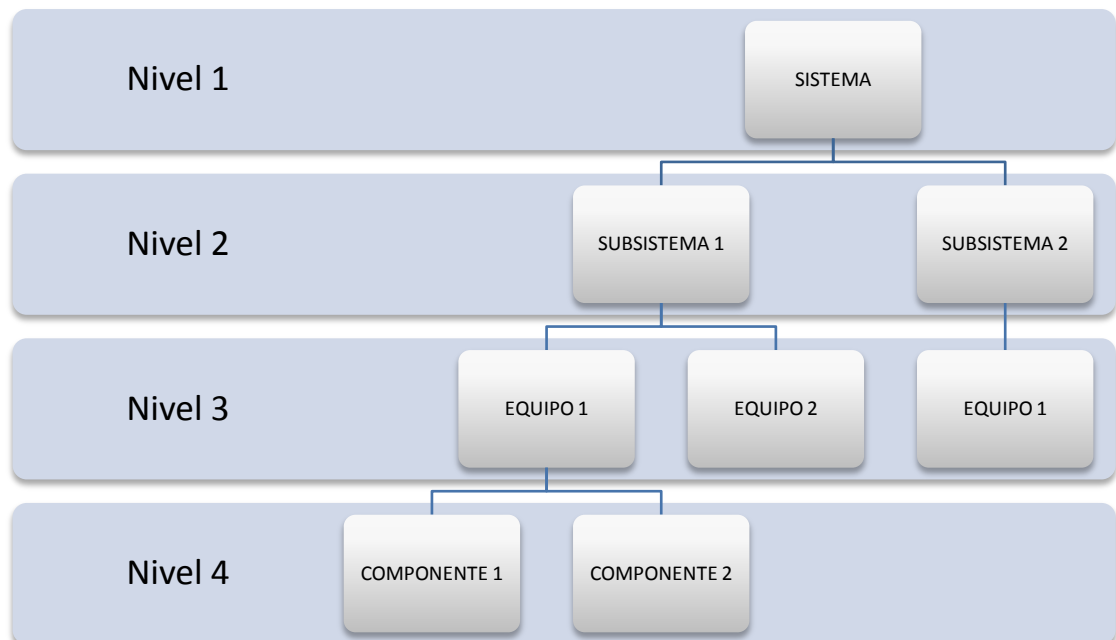


Fuente: El Autor

### 3.3.1. Registro de Planta y Definición de Sistemas

Antes que cualquier empresa pueda aplicar el proceso RCM, debe saber a qué activos va aplicarlo y donde están. Para esto debe prepararse un listado de toda la planta, equipos o edificios que la componen, esto se conoce como registro de planta, para luego elegir el nivel de análisis apropiado para el análisis RCM, el cual debe ser óptimo y adecuado para un número razonable de modos de falla por función. Los niveles de análisis del proceso son fáciles de escoger si el registro de planta está preparado como una jerarquía. Otro de los puntos importantes antes de realizar el análisis es definir claramente donde comienza o termina un sistema y asegurarse que los activos de los límites del sistema no queden por fuera del proceso. La figura 50 muestra la forma en se debe realizar el registro de planta, con sus respectivos niveles de jerarquía.

Figura 50. Registro de Planta y Niveles de Jerarquía



Fuente: El Autor

### **3.3.2. Funciones y Estándares de Funcionamiento de los Activos**

Para llegar a tener un proceso exitoso de RCM se necesita determinar claramente que es lo que los usuarios quieren que el activo realice, y asegurarse que el activo está en capacidad de realizar aquello que sus usuarios quieren que realice, pero antes de poder formular funciones, es necesario tener claro los estándares de funcionamiento y el contexto operacional del activo.

Se puede definir los estándares de funcionamiento como la magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo realice o cual es el funcionamiento deseado o desempeño y para saber si el activo está en capacidad de rendir se debe conocer la capacidad inicial. Al entrar a definir estos estándares es necesario tener en cuenta que existen maquinas que manejan varias variables en el proceso por lo cual este estándar será múltiple, también saber si es necesario cuantificarlo o se puede enunciar cualitativamente, o si es algo absoluto o variable, definiendo los limites de funcionamiento superior e inferior deseables.

El siguiente paso es comprender claramente el contexto operacional del activo, siendo este las condiciones de funcionamiento en la que opera el activo, el cual se puede redactar teniendo en cuenta diferentes aspectos, tales como el tipo de proceso, si es un activo en servicio o de apoyo, los estándares de calidad, medio ambientales y de seguridad, los turnos de trabajo en que opera, el tiempo de reparación las fallas y los repuestos necesarios, la demanda del mercado y el abastecimiento de materias primas.

De esta forma es mucho más fácil determinar las funciones del activo, la cual normalmente consiste en un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario. Existen dos tipos de funciones en un activo, las primarias y las secundarias, que se definen como:

- Las funciones primarias normalmente dan la razón principal por la cual fue adquirido el equipo e involucra aspectos como velocidad, producción, capacidad de almacenamiento o carga, calidad del producto y servicio al cliente.
- Las funciones secundarias dicen que se espera que el activo realice además de sus funciones primarias e involucra aspectos como integridad ambiental, seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta apariencia del activo.

### **3.3.3. Fallas Funcionales**

Antes de comenzar con cualquier definición se debe identificar y definir cuando un activo ha fallado, y se dice que es cuando por alguna razón el activo es incapaz de hacer lo que el usuario desea. Con esto se puede decir que una falla es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

Aunque es una definición bastante útil, resulta poco práctico ya que se trata el activo como un todo, además no deja distinguir claramente entre el estado de falla y el evento que la causa. Es por esta razón que se define la falla en términos de una función específica, en la cual el estándar de funcionamiento define el límite entre ellas. De esta manera la falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario. A su vez se debe distinguir claramente si la falla funcional es total o parcial, definir fallas funcionales para cada límite de funcionamiento por separado, y tratar las fallas funcionales de los elementos de medición, indicadores y sistemas de protección para los límites inferiores y superiores.

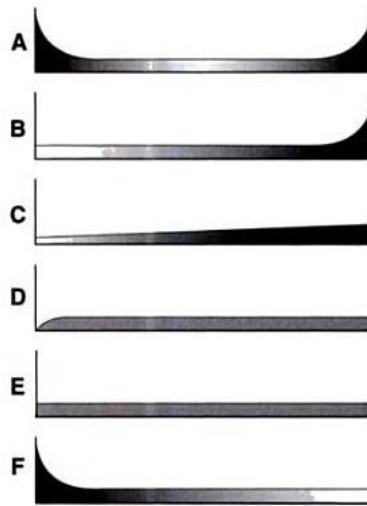
### 3.3.4. Modos de Falla

Se puede definir los modos de falla como cualquier evento que causa una falla funcional. Al describir cada modo de falla se debe considerar como mínimo un sustantivo y un verbo, tratando de ser lo suficientemente detallados para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada. Las principales categorías de los modos de falla son:

- Capacidad Decreciente: Es cuando un activo físico decae por debajo del funcionamiento deseado una vez puesto en servicio. Sus principales causas son el deterioro, la falta de lubricación, polvo o suciedad, desarme y los errores humanos.
- Aumento del funcionamiento deseado (o del esfuerzo aplicado): Es cuando el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder. El aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta que deja de ser confiable y ya no es útil. Sus principales causas son la sobrecarga deliberada o intencional, de forma constante o repentina, o usar materias primas o materiales de empaque inadecuados.
- Insuficiente capacidad inicial: Es cuando el funcionamiento deseado está fuera de la capacidad inicial desde un comienzo.

Para poder saber cómo se comportan las fallas existen diferentes patrones de falla típicos para los diferentes equipos y componentes. Las gráficas de patrones de falla se dividen en seis tipos básicos, en donde se ilustra la probabilidad de falla contra el tiempo de vida de la máquina.

Figura 51. Patrones de Falla



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2004.

- Tipo A: Se conoce comúnmente como la curva de la bañera, comienza con una probabilidad de falla alta llamada mortalidad infantil seguida de una probabilidad de falla constante o que aumenta gradualmente, y al final termina con una probabilidad de falla alta que se conoce como la región desgaste.
- Tipo B: Comienza con una probabilidad de falla constante o que aumenta, seguido de una región marcada de desgaste. Un límite de edad puede ser conveniente. Esta falla es típica de los motores alternativos.
- Tipo C: La probabilidad de falla aumenta gradualmente, pero no tiene edad de desgaste identificable. La teoría de límite del equipo por lo general no es aplicable. Esta falla es típica de las turbinas.
- Tipo D: Comienza con una baja probabilidad de falla cuando el artículo es nuevo, seguida por un aumento rápido hasta un nivel relativamente constante.
- Tipo E: Es de probabilidad de falla relativamente constante en todas las edades.
- Tipo F: Comienza con una probabilidad de falla alta o mortalidad infantil, luego decrece hasta un valor relativamente constante o aumenta lentamente. Esta falla es típica es los equipos electrónicos.

Los patrones A y B son típicos de componentes o elementos simples, tales como neumáticos, pastillas de freno y miembros estructurales. La mayoría de los elementos complejos tienden a tener un comportamiento como el de los patrones C, D, E y F. La diferencia básica entre los patrones de fracaso de los elementos complejos y simples tiene implicaciones importantes para el mantenimiento. Los elementos simples con frecuencia demuestran una relación directa entre la confiabilidad y la edad. Esto es particularmente cierto para factores tales como la fatiga o desgaste mecánico. En estos casos un límite de edad que dependa del tiempo de funcionamiento puede ser eficaz para mejorar la confiabilidad global del equipo.

Al recopilar los modos de falla para cada falla funcional es necesario revisar tanto aquellos que podrían ocurrir, como los que han ocurrido, de donde podemos utilizar como fuente de información al fabricante o proveedor del equipo, listas genéricas de modos de fallas, otros usuarios de la misma máquina, registros de antecedentes técnicos y errores humanos entre otros.

### **3.3.5. Efectos de la Falla**

Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla, esta información debe incluir todo lo necesario para ayudar posteriormente en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Cabe aclarar que el efecto de la falla no es lo mismo que la consecuencia de la misma, ya que la primera responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que la segunda responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene? Para poder hacer más eficiente esta descripción es importante tener en cuenta los siguientes aspectos.

- La evidencia de la falla: Define si será evidente para los operarios la pérdida de la función causada por este modo de falla actuando por sí solo. Por ejemplo

- contiene si la falla se asocia a algún tipo de alarma de luz o sonido, ruidos fuertes, humo, fugas, olores extraños o parada total de la maquina entre otras.
- Los riesgos para la seguridad y el medio ambiente: También esta descripción debe contener la información de de cómo la falla afecta la seguridad y el medio ambiente en la empresa. Por ejemplo riesgos de incendio o explosiones, escape de productos químicos peligrosos, electrocución, caída de objetos, colapso de estructuras, ingreso de suciedad e impurezas en el producto, inundaciones, etc.
  - Daños secundarios y efectos en la producción: Esto debe aportar claridad para determinar las consecuencias operacionales y no operacionales. Lo más común es describir como durante el tiempo de falla queda afectada la producción (si es que la afecta), esto tiene que ver con el tiempo de parada de la maquina ocasionada por la falla (Ver figura 52). Otros datos adicionales son la forma cómo afecta la calidad y el servicio al cliente, el incremento de los costos operativos y los daños secundarios.

Figura 52. Tiempo de Parada de la Maquina Vs Tempo de Reparación




Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2004.

### 3.3.6. Nivel de Análisis y la Hoja de Información

La selección del nivel de análisis dice con cuanto detalle se va a realizar el análisis RCM. Por lo general se seleccionan niveles altos (menor detalle) si el componente o sistema admite trabajar a Rotura, y niveles más bajos (mayor detalle) si el modo de

falla está sujeto a algún tipo de programa de mantenimiento. Toda la información debe ser consignada y codificada en la hoja de información del proceso RCM.

Figura 53. Hoja de Información RCM

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
	SISTEMA		Facilitador	Hoja Nº		
			Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ			
	SUBSISTEMA		Auditor	de		
			Ing. JOLMAN LOZANO PICO			
<b>F</b>	<b>FUNCION</b>	<b>FF</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MF</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE LA FALLA</b>

Fuente: El Autor

### 3.3.7. Consecuencias de la Falla

Como vimos anteriormente cada uno de los modos de fallo afecta de diversas formas la organización, y cada uno de ellos tomara tiempo y costaran dinero, siendo este el objetivo para intentar prevenir o predecir cada modo de falla. Esto quiere decir que según la importancia o consecuencia de cada modo de falla determinara el esfuerzo para poder evitarla, dándole mayor importancia a aquellas que tienen una mayor incidencia en la empresa.

El primer paso es separar las funciones ocultas de las evidentes, definiendo como función evidente aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales. Por otro lado la función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales si se produce por sí sola. El proceso RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- **Consecuencias de las fallas ocultas:** Las fallas ocultas se presentan generalmente en dispositivos de seguridad, y estos dispositivos pueden ser con seguridad inherente (se evalúa en fallas evidentes) o sin ella, entendiéndose esto como aquel que cuando este es incapaz de cumplir con la función no es evidente en circunstancias normales. Estas tipo de fallas pueden ocasionar fallas múltiples que es cuando una función protegida falla mientras el dispositivo de protección se encuentra en estado de falla.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudiera lesionar o matar a alguien. Por otro lado tendrá consecuencias ambientales si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran conducir a la infracción de cualquier normativa o reglamento.
- **Consecuencias operacionales:** Las fallas afectan y tienen consecuencias operacionales si afectan la calidad del producto, si afectan el servicio al cliente o si incrementan el costo operacional sumado al costo directo de la reparación. La diferencia entre evaluar las consecuencias para la seguridad y medio ambiente con las operacionales, es que la primera busca reducir la probabilidad de falla a niveles realmente bajos, y la segunda busca reducir la probabilidad de falla a un nivel económicamente aceptable.
- **Consecuencias no operacionales:** Son aquellas consecuencias que no ejercen un efecto adverso directo para la seguridad, el medio ambiente, o la capacidad operacional. Solo tiene consecuencias en los costos directos de reparación. En este caso es necesario tener en cuenta los daños secundarios que pueda causar la falla.

Figura 54. Evaluación de las consecuencias de falla



Fuente: SOPORTE Y CÍA. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

La evaluación de las consecuencia de falla se puede resumir en el anterior esquema el cual evalúa las falla clasificándolas si son evidentes o ocultas, si merece la pena realizar algún mantenimiento proactivo o sugiere que acción puede tomarse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada. Los diferentes tipos de tareas se describirán a continuación.

### 3.3.8. Mantenimiento Proactivo: Tareas Preventivas

Antes de entrar a definir las tareas de mantenimiento es necesario preguntarnos si una tarea es técnicamente factible, esto es cuando esta permite reducir las consecuencias de un modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable para el dueño del activo.

Ahora, todos los activos físicos están en contacto con el mundo real, siendo sometidos a una variedad de esfuerzos, causando su deterioro y llevándolos al punto de falla. Estos esfuerzos son medidos en cantidad producida, distancia recorrida, ciclos operacionales cumplidos, tiempo calendario o tiempo de

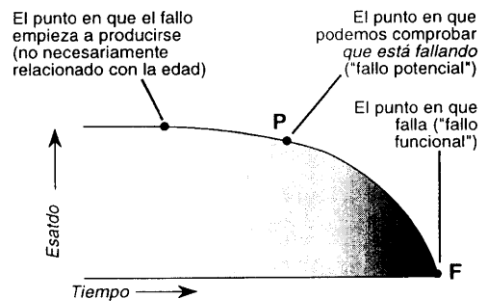
funcionamiento, lo que nos indica que para algunos casos hay una conexión entre el grado de deterioro y la edad del componente. Este tipo de fallas se asocian a los patrones de falla A, B y C descritos en los modos de falla, que sugiere que para este tipo de fallas existe una conexión entre la falla y la edad del componente. En general esto se relaciona con desgaste, fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

El proceso RCM divide el mantenimiento preventivo en dos partes, las tareas de reacondicionamiento cíclico y las de sustitución cíclica. El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad de definido, independientemente de su condición en ese momento. Por otra parte las tareas de sustitución cíclica consiste en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento. La frecuencia de este tipo de tareas la define la edad en la que aumenta la probabilidad de falla.

### **3.3.9. Mantenimiento Proactivo: Tareas Predictivas**

Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir. Las tareas a condición o predictivas consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional. En la figura 55 se puede observar la Curva P-F en la cual se muestra como comienza la falla, el punto donde es posible detectarla (P) y el punto donde causa la falla funcional (F).

Figura 55. Curva P-F



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2004.

Existen cuatro principales categorías de técnicas a condición:

- Técnicas de monitoreo de condición que implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos. Estos equipos monitorean efectos dinámicos, de partículas, físicos, térmicos y eléctricos en los equipos.
- Técnicas basadas en variación en la calidad del producto.
- Monitoreo de efectos primarios, como velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, corriente, etc., que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipos de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basados en los sentidos humanos.

### 3.3.10. Otras acciones de mantenimiento o Acciones a Falta de

Estas acciones se usan cuando no es posible hallar para un modo de falla una tarea que sea técnicamente factible y que merezca la pena ser realizada. Estas tareas se clasifican en:

- **Tareas de Búsqueda de Falla:** Son aquellas diseñadas para verificar si algo todavía funciona o no, y solo se aplican a fallas ocultas o no reveladas. La mejor

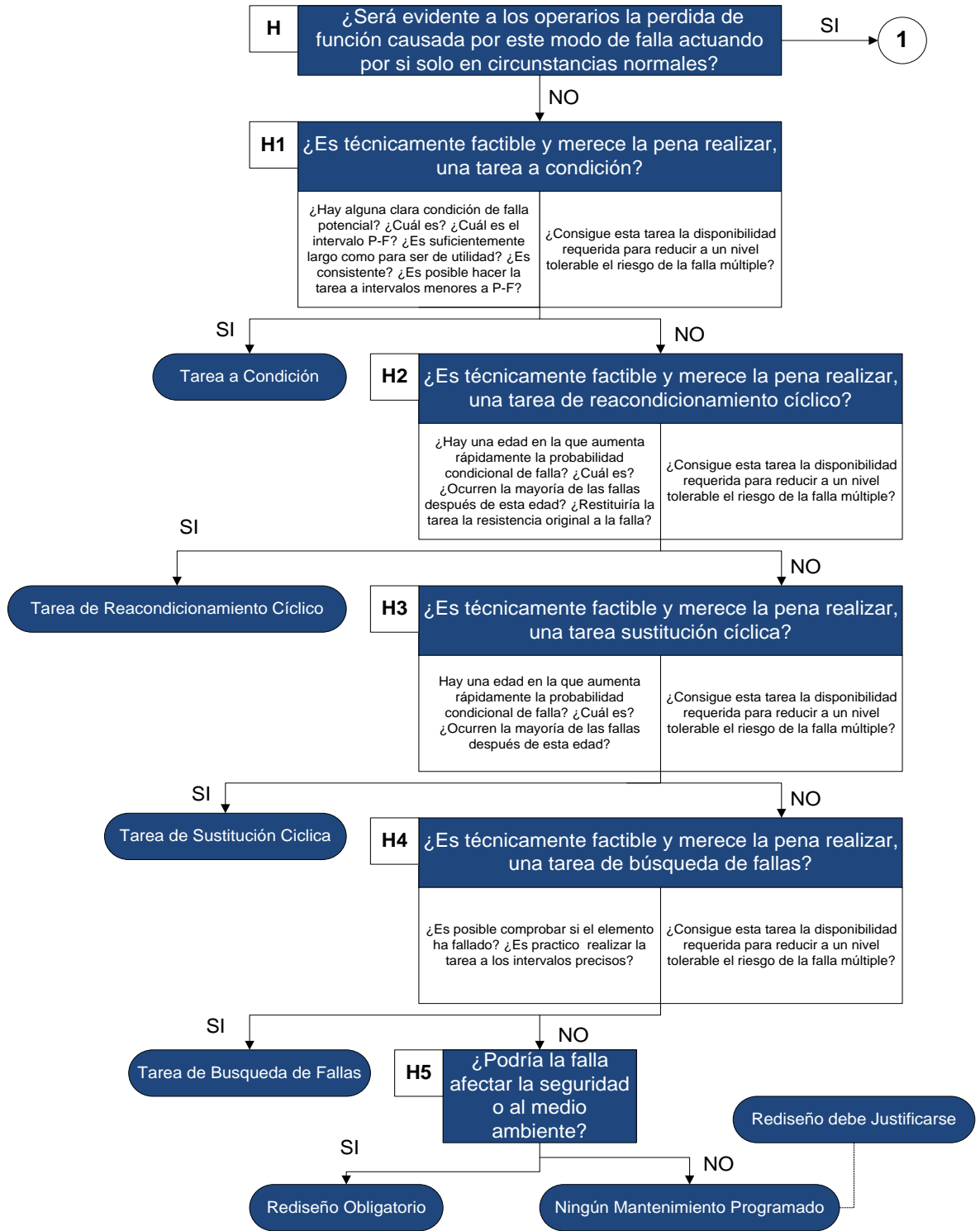
manera de realizar esta tarea es simular las condiciones en las que el dispositivo debería responder.

- **Mantenimiento Correctivo o ningún mantenimiento programado:** Es válido cuando no se puede encontrar una tarea cíclica para una función oculta y la falla oculta no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- **Rediseño:** En el caso de las fallas que tienen consecuencias para la seguridad y medio ambiente, sin poder encontrar ninguna otra tarea que sea factible aplicarla, la acción de rediseño es obligatoria, para los otros casos debe justificarse el rediseño del componente
- **Recorridas de Inspección:** Sirven para determinar daños accidentales o para determinar problemas debidos por negligencia como materiales peligrosos, objetos extraños abandonados, derrames y otros conceptos relacionados con la limpieza y conservación del lugar de trabajo.

### 3.3.11. El Diagrama de Decisión de RCM

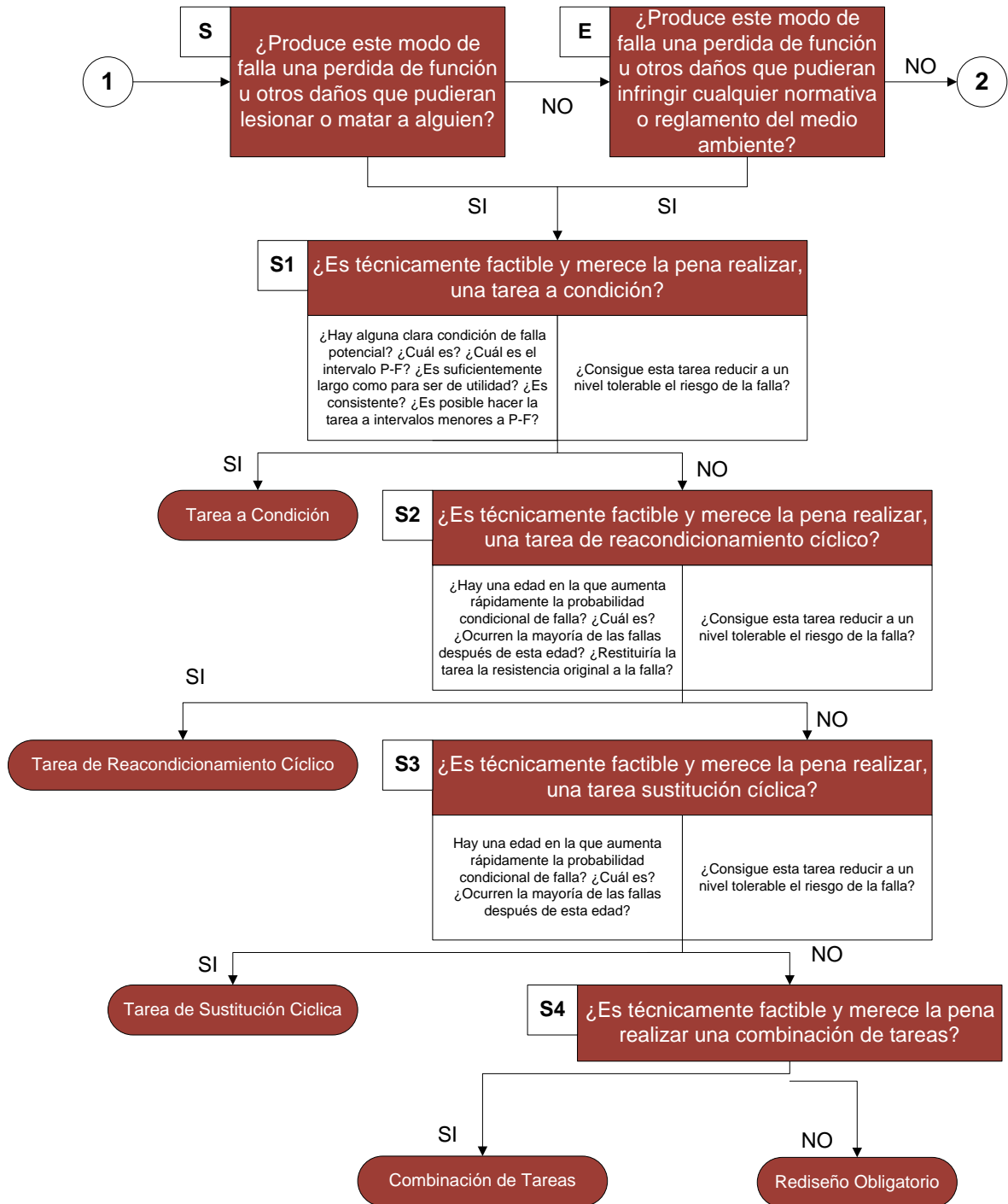
Para poder llegar a establecer cuál es la técnica de mantenimiento más adecuada para poder prevenir o predecir las fallas, es necesario realizar una metodología de decisiones de mantenimiento llamada Diagrama de Decisión de RCM en la cual se determina cual técnica es técnicamente factible en el contexto operacional dado para el activo. Todo esto es analizado ampliamente tomando como punto de referencia las consecuencias de las fallas en la empresa. En la primera parte del diagrama se analizan si el modo de falla es evidente u oculto, y se elige cual es la mejor tarea para tratar fallas de funciones ocultas. En la segunda parte se analizan las fallas con consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, y las dos últimas partes analizan las fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.

Figura 56. Diagrama de Decisión RCM: Fallas Ocultas



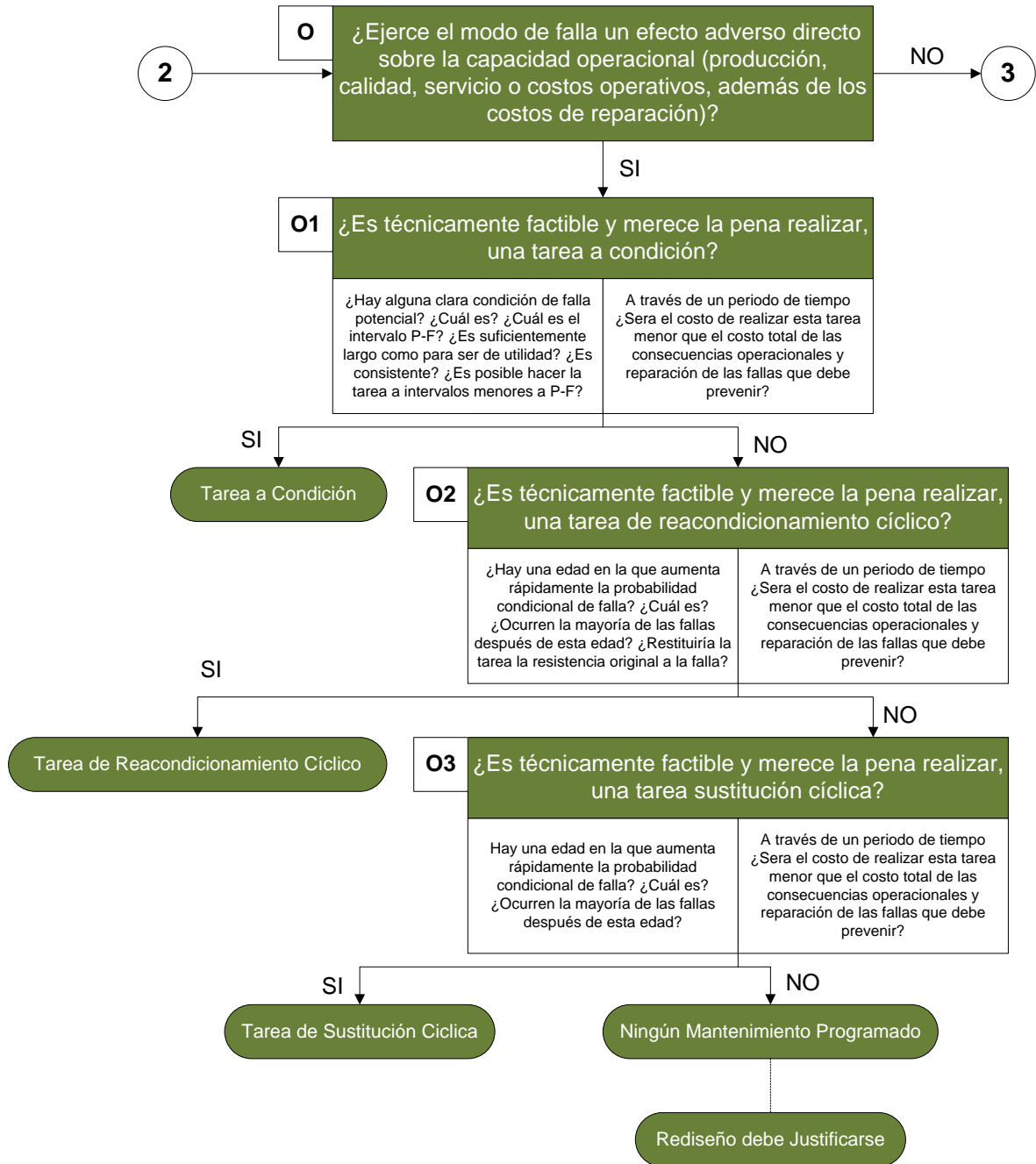
Fuente: SOPORTE Y CÍA. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Figura 57. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias de Seguridad y Medio ambiente



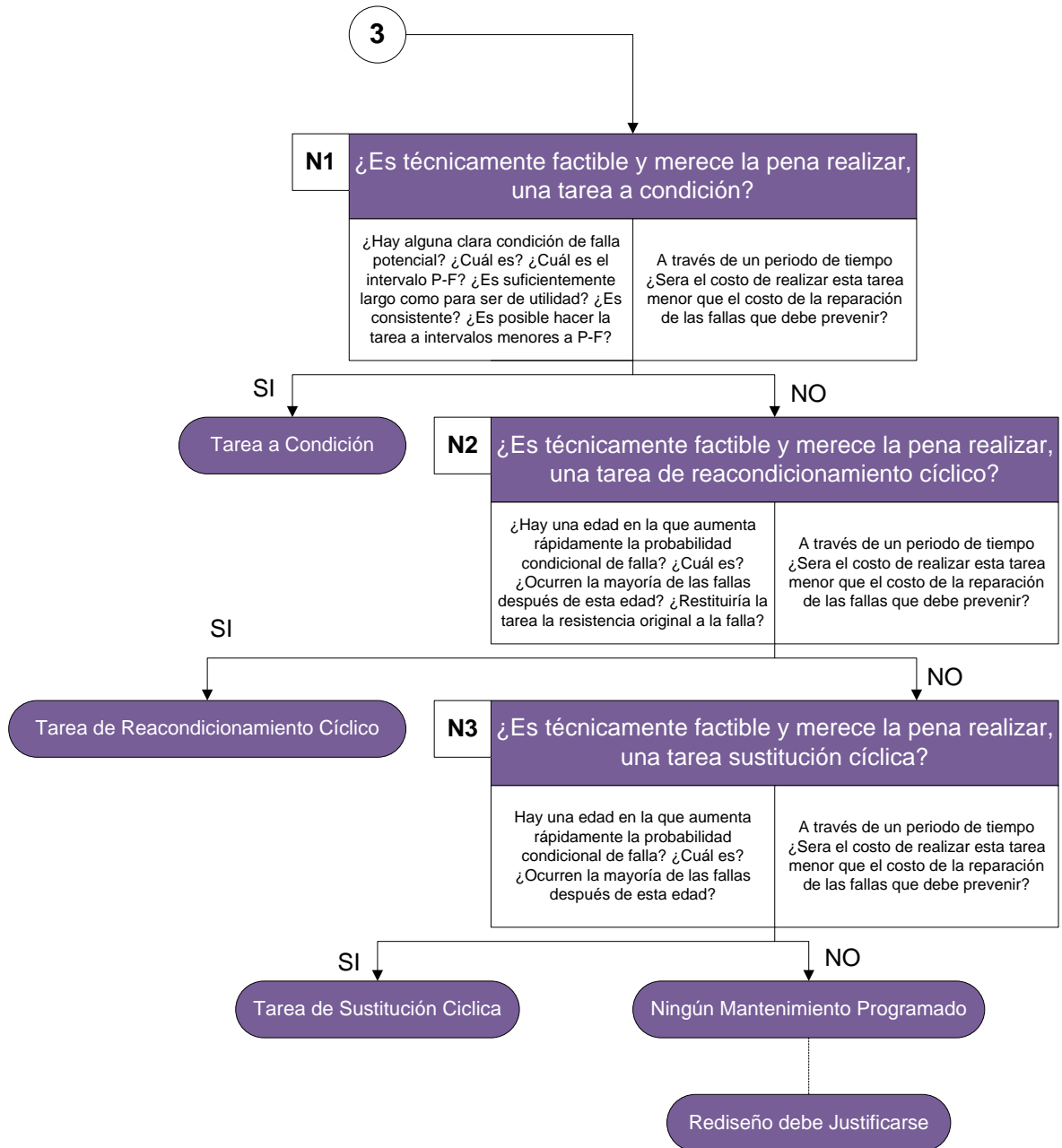
Fuente: SOPORTE Y CÍA. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Figura 58. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias Operacionales



Fuente: SOPORTE Y CÍA. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Figura 59. Diagrama de Decisión RCM: Consecuencias No Operacionales

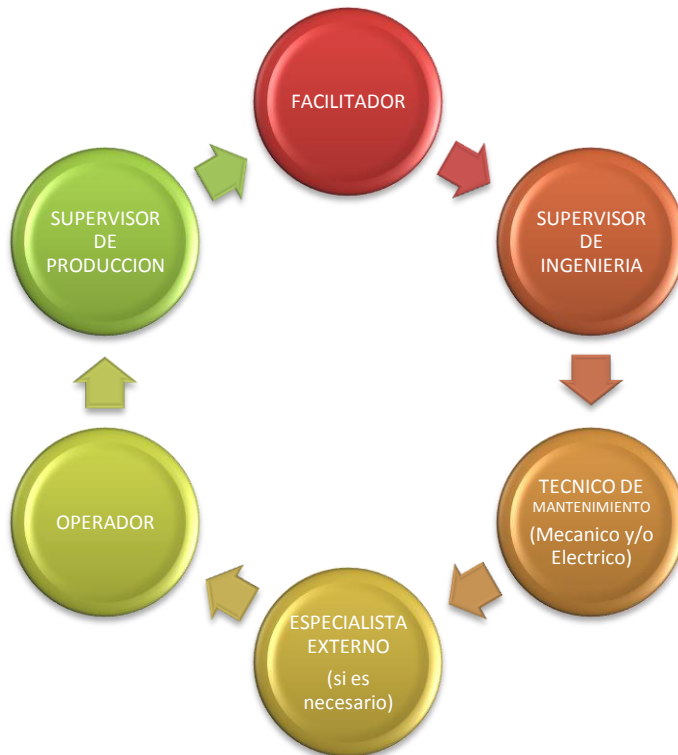


Fuente: Soporte y Cía. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.



Como resultado de este proceso se obtendrá planes de mantenimiento, procedimientos de operación y cambios en los diseños en los activos; todo esto debe ser auditado por los gerentes responsables, los cuales deben comprender las decisiones tomadas y aprobarlas.

Figura 61. Grupo de Revisión RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2004.

## **4. APLICACIÓN DEL PROCESO DE ANALISIS RCM A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BOSCONIA**

Con base en el desarrollo del análisis del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) antes expuesto, se pretende describir la aplicación del análisis RCM en la Planta de Tratamiento Bosconia.

En este capítulo se tratará: el análisis de la situación actual y equipos críticos en la planta, el contexto operacional y funciones de los sistemas escogidos para el análisis, el análisis de modos de falla y efectos AMFE, consignando toda la información en las hojas de información RCM, se aplicará el diagrama de decisión RCM para realizar los diferentes planes de mantenimiento.

El análisis RCM realizado en la Planta de Tratamiento Bosconia busca determinar la mejor estrategia de mantenimiento para garantizar una operación confiable de los activos con mínimas consecuencias para la seguridad, medio ambiente y operacionales para la empresa.

### **4.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Actualmente en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. existe un programa de mantenimiento preventivo que le permite programar las actividades a realizar a las Coordinaciones de Mantenimiento Mecánico, Eléctrico y Electrónico, todo esto administrado desde el Sistema de Información Computarizado de Mantenimiento SICMA, en donde se encuentran la fichas técnicas de cada equipo, y la programación de las ordenes de trabajo del mantenimiento preventivo de cada área de la empresa.

El siguiente paso que sugiere el proceso de análisis RCM es determinar por cuales activos físicos se va a empezar, para el cual la empresa cuenta con un análisis de

criticidad soportado en el concepto de riesgo, el cual permite identificar y jerarquizar por su importancia los elementos de la empresa sobre los cuales vale la pena dirigir los recursos (humanos, económicos y tecnológicos), este análisis se describe en el Anexo A. Para trabajar en el análisis RCM en la Planta de Tratamiento Bosconia, se seleccionan algunos equipos entre los críticos del análisis de criticidad.

Específicamente se realizaron los estudios para sistemas que involucraran los cloradores en la zona de tratamiento, ya que el uso del cloro en el proceso de potabilización implica un riesgo ambiental, de seguridad y operacional en la planta, en la tabla 3 se puede observar la lista de equipos críticos en la zona de tratamiento (captación, pretratamiento y tratamiento) en la cual se resaltan los cloradores.

Para la zona de la estación de bombeo se realizaron estudios para sistemas que involucren las unidades principales de bombeo, ya que estos equipos son el objetivo principal de este proyecto por su alto costo operacional y alto grado de complejidad tecnológica.

En total los sistemas que se analizaron son dos, el sistema de cloración y el sistema de la unidad de bombeo N° 1.

Tabla 3. Equipos críticos en la Planta Bosconia - Tratamiento

<b>PLANTA BOSCONIA</b>		
<b>TRATAMIENTO</b>		
<b>CODIGO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>CRITICIDAD</b>
BOCL-C7	BOMBA SULFATO LIQUIDO 1	28
BOCL-C8	BOMBA SULFATO LIQUIDO 2	28
BOCL-C9	BOMBA SULFATO LIQUIDO 3	28
BOCL-K2	PLANTA ELECTRICA TRATAMIENTO	30
BOCL-R3	DOSIFICADOR DE SULFATO 3 EDIFICIO	26
BOCL-S'1	MEZCLADOR DE CAL	26
BOCL-T1	FLOCULADOR 1	28
BOCL-T10	FLOCULADOR 10	28
BOCL-T11	FLOCULADOR 11	28
BOCL-T12	FLOCULADOR 12	28
BOCL-T13	FLOCULADOR 13	28
BOCL-T14	FLOCULADOR 14	28
BOCL-T15	FLOCULADOR 15	28
BOCL-T16	FLOCULADOR 16	28
BOCL-T2	FLOCULADOR 2	28
BOCL-T3	FLOCULADOR 3	28
BOCL-T4	FLOCULADOR 4	28
BOCL-T5	FLOCULADOR 5	28
BOCL-T6	FLOCULADOR 6	28
BOCL-T7	FLOCULADOR 7	28
BOCL-T8	FLOCULADOR 8	28
BOCL-T9	FLOCULADOR 9	28
<b>BODF-X1</b>	<b>CLORADOR 1</b>	<b>30</b>
<b>BODF-X2</b>	<b>CLORADOR 2</b>	<b>30</b>
<b>BODF-X3</b>	<b>CLORADOR 3</b>	<b>30</b>
<b>BODF-X4</b>	<b>CLORADOR 4</b>	<b>30</b>
BO-TSE	TABLERO DE SUBESTACIÓN QUÍMICOS	34

Tabla 4. Equipos críticos en la Planta Bosconia – Estación de Bombeo

PLANTA BOSCONIA		
ESTACION DE BOMBEO		
CODIGO	EQUIPO	CRITICIDAD
BOBM – M1	MOTOR UNIDAD N° 1	26
BOBM – M2	MOTOR UNIDAD N° 2	26
BOBM – M3	MOTOR UNIDAD N° 3	26
BOBM – M4	MOTOR UNIDAD N° 4	26
BOBM-D1	BOMBA PRINCIPAL 1	26
BOBM-D2	BOMBA PRINCIPAL 2	26
BOBM-D3	BOMBA PRINCIPAL 3	26
BOBM-D4	BOMBA PRINCIPAL 4	26
BOBM-D5	BOMBA PRELLENADO	26
BOBM-MONYCON	SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	32
BOBM-Z3	COMPRESOR 3	26
BOBM-Z4	COMPRESOR 4	26
BOBM-Z5	COMPRESOR 5	26
BOMB-BATC	BATERÍAS ESTACIONARIAS	27
BOMB-CARB1	CARGADOR BATERÍAS 1	25
BOMB-CARB2	CARGADOR BATERÍAS 2	25
SE-CT1	TRANSF. CORRIENTE 1	30
SE-CT2	TRANSF. CORRIENTE 2	30
SE-MALLA	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	34
SE-PARL	PARARAYOS DE 115 KV	30
SE-PATIO	BARRAJES Y PATIO DE S/E KV	33
SE-PT	TRANSF. POTENCIAL S/E	34
SE-SECC2	SECCIONADOR TRAF0 2	26
SE-SECCL	SECCIONADOR LÍNEA	36
SE-SF61	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 1	32
SE-SF62	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 2	32
SE-TP1	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 1	32
SE-TP2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 2	32
TCSU	TABLERO CONTROL SUBESTACIÓN	26
TCSU1	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 1	26
TCSU2	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 2	26

## 4.2. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS RCM AL SISTEMA DE CLORACION

Para la aplicación del análisis RCM al sistema de cloración se recurrió a conformar un equipo de revisión del proceso el cual se encargó de suministrar la información necesaria durante el análisis. Este grupo fue conformado por el personal de operación de la planta en la zona de tratamiento, personal de mantenimiento y el facilitador del análisis RCM.

Tabla 5. Grupo de Revisión RCM del Sistema de Cloración

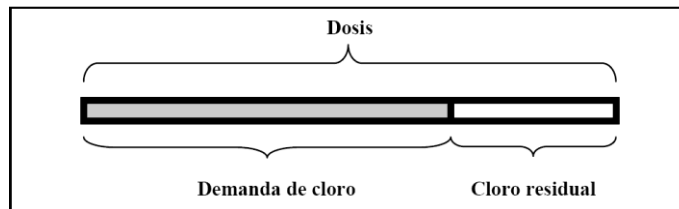
<b>Facilitador</b>	<b>Ricardo Pulido Ramírez</b>
<b>Supervisor de Ingeniería</b>	Ing. Jolman Lozano Pico
<b>Técnico Mantenimiento</b>	Luis Orlando Salcedo (Mecánico)
	José Oscar Serrano (Electricista)
<b>Supervisor de Operación</b>	Ing. John Jairo Barreneche
<b>Operador</b>	Miguel Ángel Ramón

### 4.2.1. Contexto operacional del Sistema de Cloración

El sistema de cloración es el encargado de suministrar el desinfectante necesario que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. Para este proceso se utiliza cloro ( $Cl_2$ ) el cual viene en contenedores de 907 Kg. La demanda del cloro se calcula en el laboratorio cada 6 meses, dando el dato de que cantidad de desinfectante necesita el proceso para que el agua tratada contenga como máximo 2 ppm, y esta puede variar de acuerdo a la cantidad de materia orgánica y cianuro que pueda contener el agua. Para el caso de los últimos años la demanda del cloro se encuentra entre un rango de 1.8 a 2.2 ppm (partes por millón), a esto hay que añadirle al proceso en promedio una cantidad de cloro de 1 ppm necesaria para que al final el agua presente un cloro residual entre 0.9 a 1.2 ppm (Ver Figura 62). Esta variable se monitorea mediante un sensor de cloro residual instalado en el tanque de almacenamiento de la planta, si el valor de cloro residual se sale de los límites, se varía la dosificación de cloro en la postcloración

aumentándola o disminuyéndola según sea necesario. La dosificación en la precloración es en promedio de 1 ppm, mientras que en la postcloración es de alrededor de 2 ppm.

Figura 62. Demanda del Cloro y Cloro Residual

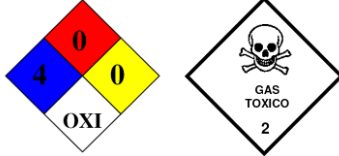


Fuente: THE CHLORINE INSTITUTE, Water and Wastewater Operators Chlorine Handbook. 2008.

En el laboratorio de la planta también se realiza la prueba para conocer si el agua que se está tratando contiene cianuro, en el caso de detectar una concentración de cianuro de hasta 0.05 ppm es necesario aumentar la dosis en la precloración al doble, y si continua subiendo la concentración de cianuro, se aumenta al triple la dosis aplicada en la precloración. Para el caso de la máxima capacidad de la planta, con un caudal de agua de 2000 l/s, los 2 equipos de precloración pueden suministrar hasta 2.6 ppm cada uno, necesitándose así en condiciones normales un solo equipo y quedando el otro de reserva, o en caso en que el agua tratada contenga una concentración alta de cianuro. En el caso de postcloración cada equipo está en capacidad de suministrar hasta 5.2 ppm necesitándose solo un clorador, y quedando el otro de reserva.

El Cloro es un material altamente reactivo, por si solo no es inflamable, pero en presencia de hidrógeno, amoníaco, hidrocarburos gaseosos o algunos materiales orgánicos puede formar mezclas explosivas. Se hidroliza con agua produciendo ácido clorhídrico e hipocloroso altamente corrosivos. Se recomienda el uso del los siguientes rombos de seguridad del cual se encuentra visible en el sitio de manipulación del material.

Tabla 6. Rombos de Seguridad del Cloro

	
Nivel de Riesgo	4: Mortal
Inflamabilidad	0: No se Inflama
Reactividad	0: Estable
Riesgo Especifico	OXI: Oxidante

A continuación se presentan algunas propiedades físicas y químicas del cloro.

Tabla 7. Propiedades Físicas y Químicas del Cloro

<b>Nombre Químico</b>	<b>Cloro</b>
<b>Formula Molecular</b>	Cl <sub>2</sub>
<b>Peso Molecular</b>	70,91 g/gmol
<b>Color:</b>	Gas: Amarillo Verdoso Líquido: Ámbar Transparente
<b>Olor</b>	Picante, Irritante
<b>PH</b>	1.5 - 2.0
<b>Presión de Vapor</b>	673.1 kPa a 20°C; 1427 kPa a 25°C
<b>Densidad Relativa del Vapor</b>	2.49 (0 °C y 1 atm)
<b>Punto de Ebullición</b>	-34 °C a 1atm
<b>Punto de Fusión</b>	-101°C a 1 atm
<b>Solubilidad en agua</b>	8.3 Kg./m <sup>3</sup> a 15.6 °C y 1 atm
<b>Peso específico como líquido</b>	1.467 a 0°C y 368.9 kPa (gas licuado saturado); 0.0032 a 0°C (como gas)
<b>Presión Crítica</b>	7977 kPa
<b>Temperatura Crítica</b>	143.75°C
<b>Densidad Crítica</b>	573.0 Kg./m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad Gas licuado</b>	- 0.3538 cP a 15.6°C
<b>Relación de Volumen gas-líquido a condiciones estándar (0 °C y 1 atm)</b>	El peso de 1 volumen de líquido es igual al peso de 456.5 volúmenes de gas.
<b>Pureza</b>	Mínimo 99,5 %m/v
<b>Humedad</b>	Máximo 150 mg/Kg.
<b>Residuos no volátiles</b>	Máximo 150 mg/Kg.
<b>Tricloruro de nitrógeno</b>	Máximo 5 mg/Kg.
<b>Metales pesados</b>	Máximo 30 mg/Kg.
<b>Plomo</b>	Máximo 10 mg/Kg.
<b>Mercurio</b>	Máximo 1 mg/kg
<b>Arsénico</b>	Máximo 3 mg/kg

Con respecto a la seguridad humana, el Cloro en condiciones normales se encuentra como gas a temperatura ambiente y la ruta más probable de exposición es la inhalación causando irritación severa de la nariz, garganta y tracto respiratorio, seguida de la exposición por los ojos o la piel. El cloro licuado puede congelar el tejido cutáneo. Para el manejo de contenedores se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Disponer los contenedores en un lugar con ventilación natural incrementada a nivel de piso.
- No exponer los contenedores a luz solar directa o a fuentes térmicas.
- Separar los contenedores de cualquier sustancia compatible.
- No golpear los contenedores ni realizar movimientos bruscos en el manejo y transporte de los mismos.
- Almacenar siempre en posición horizontal y en un solo tendido
- Verificar la presencia del tapón ciego de seguridad en las válvulas de cierre del contenedor.
- Utilizar el equipo de protección personal adecuado, en cualquier momento de manipulación del producto:
  - ✓ Máscara antigás
  - ✓ Gafas herméticas
  - ✓ Botas y guantes de cuero

A continuación se presenta una lista de umbrales de exposición y sus efectos clínicos estimados:

Tabla 8. Efectos en la salud por exposición al Cloro

CONCENTRACION	EFEECTO
0.2 - 0.4 ppm	Umbral de olor.
1.0 - 3.0 ppm	Irritación ligera de la membrana mucosa, la cual se tolera hasta por una hora.
5.0 - 15.0 ppm	Irritación moderada del tracto respiratorio.
30 ppm	Dolor pectoral, vómito y tos inmediatos.
40 - 60 ppm	Neumonitis tóxica y edema pulmonar.
430 ppm	Letal en 30 min o más.
1000 ppm	Mortal en unos pocos minutos.

El cloro es ligeramente soluble en agua, en la que forma una solución débil de ácido clorhídrico y ácido hipocloroso. También es posible que se forme hidrato de cloro, una sustancia verdosa parecida al hielo, con forma de cristales por debajo de 9.6 °C a presión atmosférica o a temperaturas más altas si el cloro se encuentra en un aumento de la presión. Estos cristales se pueden formar en los ductos del sistema gracias a la húmeda atrapada en estos, interfiriendo con el funcionamiento normal del proceso.

El gas cloro reacciona con agua para formar ácido hipocloroso y ácido clorhídrico:



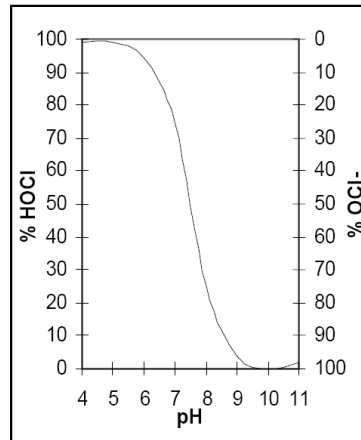
El ácido hipocloroso es la forma dominante y a su vez es el encargado de la desinfección del agua, y se disocia en agua para formar el hidrógeno y los iones hipoclorito:



El grado de disociación depende del pH, y las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del

cloro, ya que estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas. En realidad, la eficiencia del HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl<sup>-</sup>.

Figura 63. Disociación del HOCl según el PH



Fuente: THE CHLORINE INSTITUTE, Water and Wastewater Operators Chlorine Handbook. 2008.

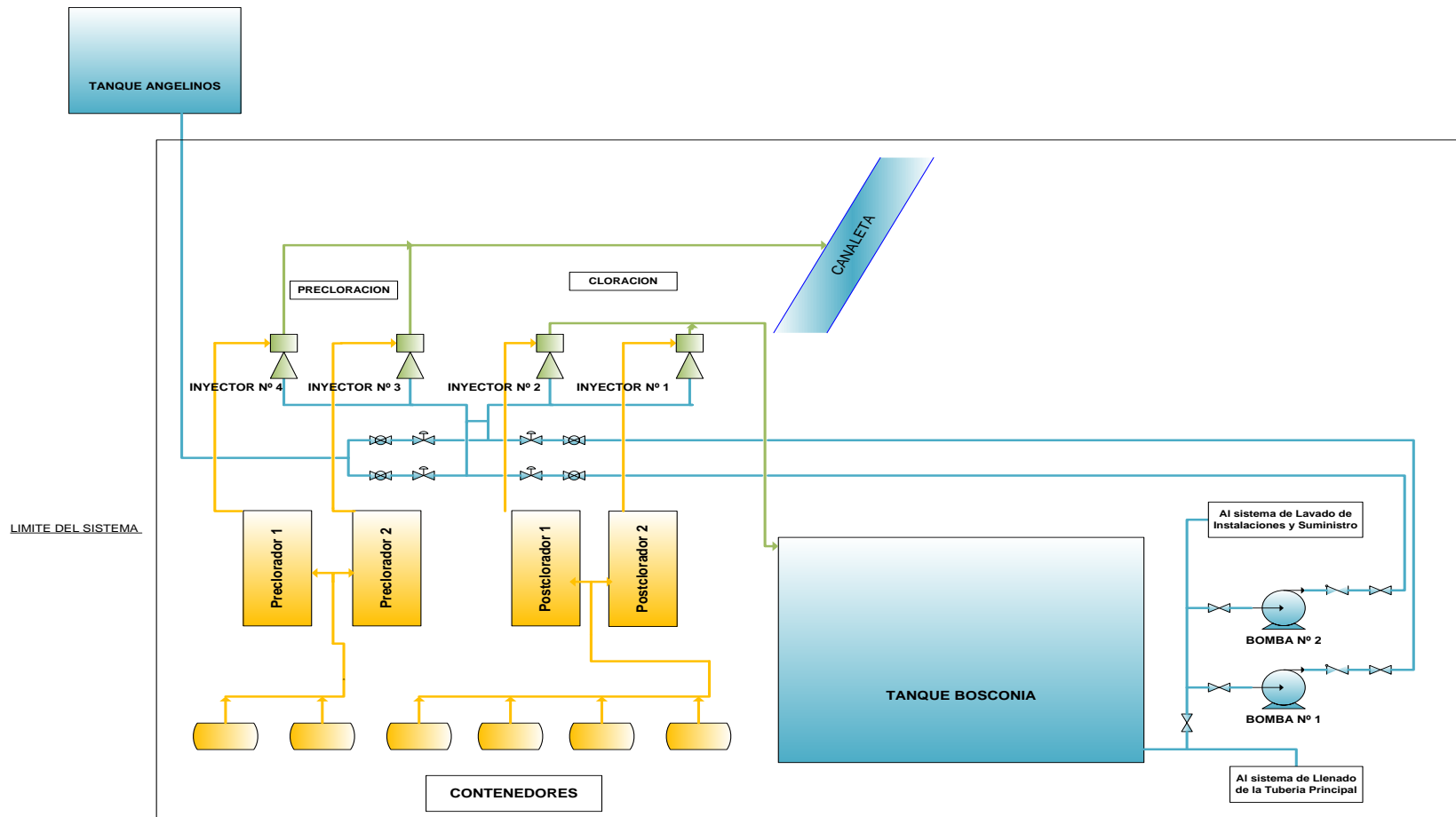
Por esta razón, cuando se monitorea el cloro del agua, se vigila el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de los desinfectantes presentes. En tal sentido, es importante mencionar que para asegurar una desinfección adecuada el agua tratada debe tener un pH < 8.

El sistema está compuesto por 3 subsistemas, el subsistema de suministro de cloro, y el subsistema de suministro de agua. Estos tres sistemas se describirán en detalle en la siguiente sección con sus respectivos subsistemas y componentes.

Tabla 9. Partes Analizadas en del sistema de Cloración

<b>SISTEMA DE CLORACION</b>		
<b>SUMINISTRO DE CLORO</b>	<b>SUMINISTRO DE AGUA</b>	<b>ELECTRICO</b>
<b><u>COMPONENTES</u></b>		
Contenedor de Cloro	Bombas de Cloración	Motores Eléctricos
Conmutador Automático	Válvulas de Succión y Descarga	Tablero de Control de Motores
Cloradores e Inyectores	Válvulas de Control de Cloración	Tablero de Control de Cloración

Figura 64. Esquema Básico del Sistema de Cloración.

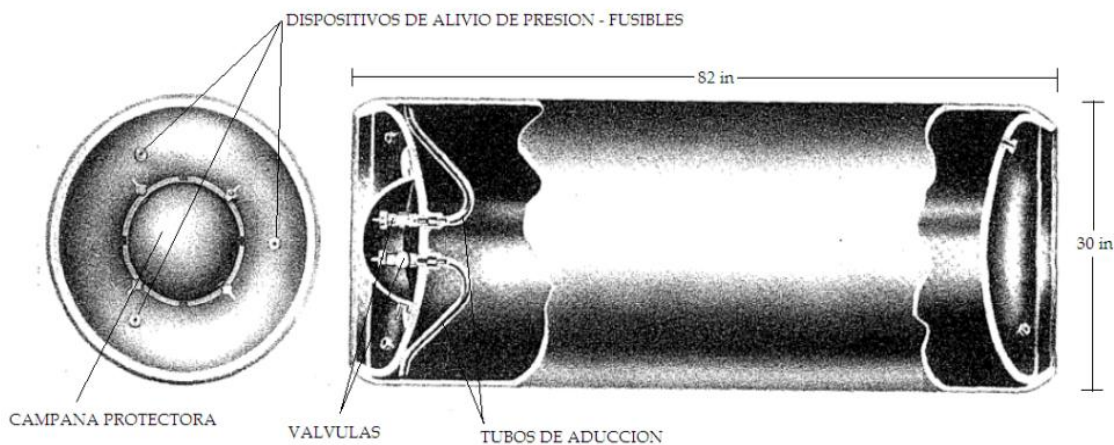


Fuente: El Autor

#### 4.2.1.1. Descripción del Subsistema de Suministro de Cloro

El subsistema de suministro de cloro comienza en los contenedores a presión de cloro clase DOT 106A500X según el Instituto del Cloro (Ver Figura N° 65), el cual tiene una capacidad de 2000 lb (907 Kg.) y su color de identificación es el rosa salmón, en los cuales el cloro se encuentra en forma de gas licuado, dando como resultado la presencia de ambas fases en los recipientes, líquida y gas. A estos contenedores según el Instituto del Cloro<sup>7</sup> y la NTC 925<sup>8</sup> se le deben realizar pruebas Hidrostáticas cada 5 años, o si el contenedor perdió el 5% del peso original. En la tabla 10 se presentan algunas especificaciones técnicas del contenedor.

Figura 65. Contenedor de Cloro



Fuente: THE CHLORINE INSTITUTE, Water and Wastewater Operators Chlorine Handbook. 2008.

<sup>7</sup> THE CHLORINE INSTITUTE, Packaging Plant Safety and Operational Guidelines. 4 ed., 2009. P102

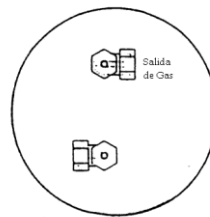
<sup>8</sup> ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Productos Químicos para el uso Industrial, Cloro Líquido. 3 ed., 2006. P16

Tabla 10. Ficha Técnica del Contenedor.

DATOS TECNICOS DEL CONTENEDOR	
CAPACIDAD	2000 Lbs. (907 Kg.)
PESO	1300 - 1450 lb. (590 - 660 Kg.)
DIAMETRO EXTERNO	30 in (76,2 cm.)
LONGITUD	82 in (208,3 cm.)
VALVULAS	2 válvulas tipo ¾ - 14 NGT - X, o, 1 - 1 ½ NGT - X
FUSIBLES	6 fusibles tipo ¾ - 14 NGT - X, o, 1 - 1 ½ NGT - X
CODIGO DOT	106A500X
MATERIAL	Acero al Carbono Forjado y Soldado

Los contenedores tienen dos válvulas y puede proporcionar ya sea líquido o gas, en el caso de cloro gaseoso, se puede extraer hasta 240 Kg/día. Cuando las válvulas están correctamente alineadas en una posición vertical, la válvula superior se alimenta de gas de cloro, mientras que la válvula inferior se alimenta de cloro en forma de líquido, además estas válvulas según norma NTC 925 deben operar normalmente con la llave K200.

Figura 66. Orientación de las Válvulas en el Contenedor

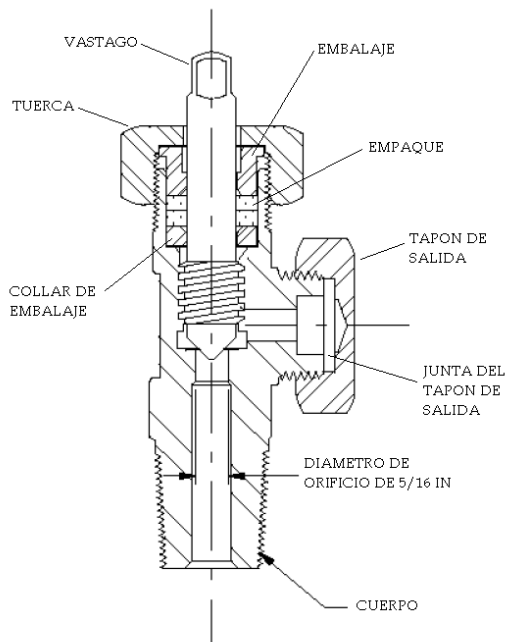


Fuente: THE CHLORINE INSTITUTE, Water and Wastewater Operators Chlorine Handbook. 2008.

En la planta hasta el momento solo se ha extraído de los contenedores cloro gaseoso. El cloro líquido es requerido cuando existe una gran demanda de cloro en el proceso y requiere de modificaciones de los equipos del proceso para aumentar su capacidad. A su vez los cloradores están diseñados para manejar el cloro gaseoso y el cloro líquido puede dañarlos.

La válvula opera mediante un vástago con forma de cono en la punta el cual garantiza el sello en el cierre, este va montado en el cuerpo de la válvula y asegurado por medio de una tuerca de seguridad, a su vez está equipado con sus respectivos empaques que controlan fugas. La salida del cloro se hace por un costado de la válvula, la cual está equipada con un tapón de salida y un empaque.

Figura 67. Básicas de las Válvulas del Contenedor



Fuente: THE CHLORINE INSTITUTE, Water and Wastewater Operators Chlorine Handbook. 2008.

Como ya se enuncio los contenedores se pueden equipar con dos tipos de válvulas ( $\frac{3}{4}$  - 14 NGT - X, o, 1 - 11  $\frac{1}{2}$  NGT - X) donde X representa el tamaño de la válvula, comenzando por el tamaño 1 hasta el 5 en caso de que el agujero sea demasiado grande. Los dispositivos de alivio de presión o fusibles están fabricados en una aleación tipo "B" o tipo "N" la cual se funde entre 65 °C (150 °F) y 74 °C (165 °F). Cabe aclarar que los fusibles no proporcionan protección de llenado excesivo del contenedor.

Figura 68. Dispositivos de Alivio de Presión – Fusibles



Fuente: Hidro Instruments < <http://www.hydroinstruments.com>>

Ambos dispositivos, tanto las válvulas como los fusibles, deben ser revisadas antes de que el contenedor sea puesto en operación, verificando detalladamente que no presente grietas, corrosión, algún indicador de que se presentó algún impacto, extrusión del material fusible (máximo 1/32"), que no se presenten fugas por desgaste de los hilos de la válvula, y que no se presente desgaste de la llave hexagonal o cualquier otra observación que pueda presentar fuga. Además de estas pruebas, el proveedor del producto debe realizar una prueba de presión, en la cuales conecta la válvula con aire libre de aceite, nitrógeno o dióxido de carbono a 500 PSI, revisando primero sin tapón de salida y con el vástago cerrado, y después se revisa con tapón cerrado y vástago abierto, y verificando que no exista ninguna disminución de la presión por fugas en el asiento del vástago y en el tapón de la válvula o burbujas cuando se sumerge en agua.

El yugo con el adaptador es la conexión estándar a la salida de la válvula del contenedor. Hay un empaque en la cara de la válvula es parte de la conexión, este debe ser reemplazado cada vez que se realiza una conexión. Una conexión flexible debe ser usada entre el contenedor y el sistema de tuberías donde se encuentra una válvula igual a la del contenedor para aislar el sistema. Las conexiones flexibles son hechas en tubería de cobre de 3/8 de diámetro.

Figura 69. Yugo, Adaptador y Conexión Flexible



Fuente: Hidro Instruments < <http://www.hydroinstruments.com> >

Los contenedores de cloro en el momento en el cual entran en servicio se montan sobre una balanza la cual tiene una capacidad de 4000 Kg, en la cual se ubican dos contenedores de cloro. Esta balanza tiene contiene un dial con un diámetro de 305 mm y el peso total de la balanza es de 200 Kg.

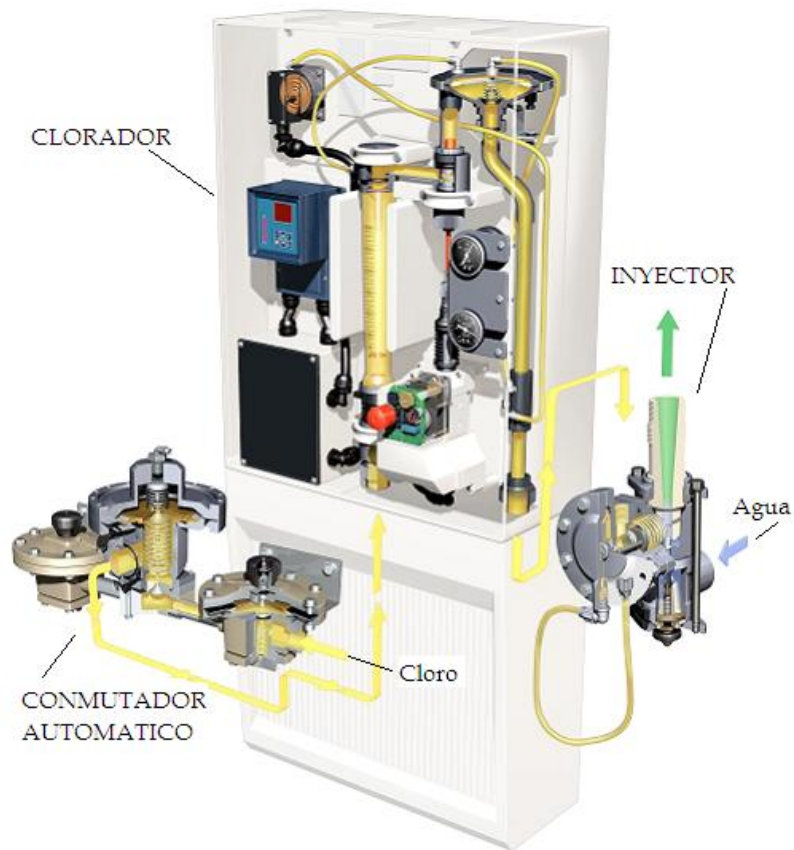
Figura 70. Balanza



Fuente: El Autor

Para el caso de los cloradores de postcloración, el contenedor de cloro se conecta a la tubería de suministro de cloro la cual conduce el gas hacia el clorador el cual está compuesto de 3 partes básicas, el conmutador automático, la unidad de control, y el inyector, en donde se unen el subsistema de suministro de cloro y el subsistema de suministro de agua.

Figura 71. Esquema Básico del Clorador

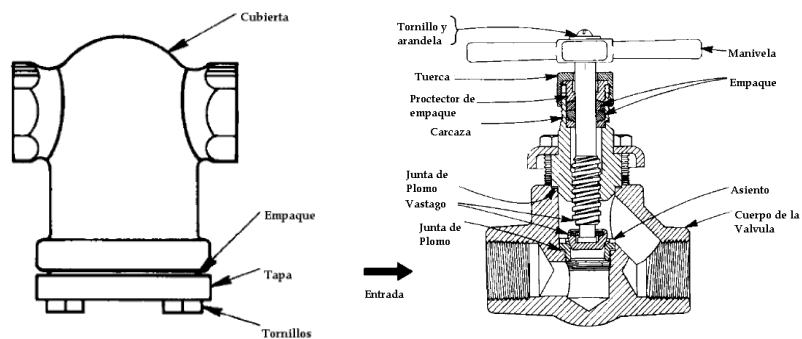


Fuente: US FILTER, V-2000 Gas Feed Systems.

El sistema opera bajo un vacío producido en el inyector tipo aspiradora. El vacío se transmite al módulo de control y de ahí a la válvula reguladora de vacío. Este entra en la válvula reguladora de vacío. Aquí un diafragma desplaza el vástago, ajustado por un resorte, fuera de su asiento. Esto tiende a mantener el vacío correcto de operación antes del módulo de control y permite que el gas fluya hacia este módulo. Todavía al vacío, el gas entra en el módulo de control. Su capacidad se mide al pasar a través del rotámetro y es controlada por el V-Notch al modificar el área de su orificio. En este punto, el flujo gaseoso es controlado por una válvula reguladora diferencial. Esta válvula mantiene la diferencia constante a través del V-Notch. A continuación el gas pasa al inyector. En el inyector, el gas ya medido es

disuelto en la corriente de agua. La solución resultante se descarga hacia el punto de aplicación. El control manual se logra modificando la posición del orificio V-Notch mediante una perilla de ajuste por la parte frontal del clorador. A la entrada del conmutador automático se encuentra un filtro tipo rasera contra impurezas que pueda presentar el suministro de cloro como los cristales de nitrato de cloro, a su vez sirve de trampa para no dejar pasar cloro líquido en caso de que exista condensación de cloro en las tuberías.

Figura 72. Filtro y Válvula de Línea del Sistema de Cloración



Fuente: US FILTER, Chlorine Handling Manual.

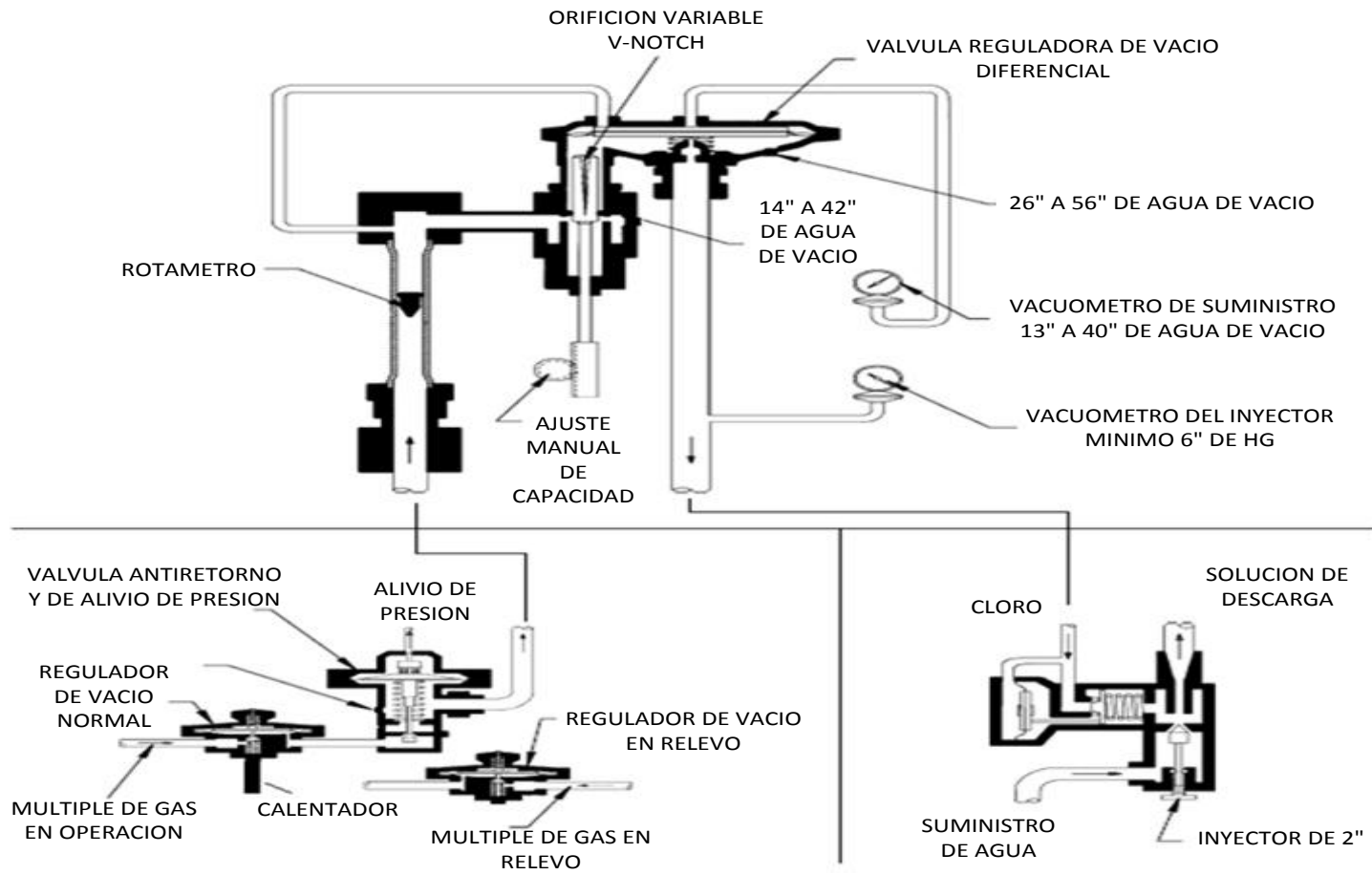
Una válvula reguladora de vacío en el suministro de cloro gaseoso reduce de inmediato la presión del gas hasta un vacío. En seguida de la válvula reguladora de vacío se encuentra la válvula de línea la cual es usada para aislar la sección del sistema o parar el flujo de gas al clorador. El gas seco viaja por el sistema, al vacío, hasta el inyector. No hay líneas o componentes que transporten el gas a presión; así se evitan fugas de gas. La pérdida del vacío, por cualquier razón, hace que la válvula reguladora de vacío cierre evitando el paso de gas, mediante la acción de un resorte diafragma diseñado para contener la presión del gas. Además de esto se cuenta una válvula antiretorno tipo resorte diafragma diseñada para confinar el gas en caso de que la primera válvula se pegue, por la acumulación de impureza, sobre el asiento. El cambio automático de suministro de gas es que permite pasar

de un contenedor de cloro vacío a un contenedor de cloro lleno, extendiendo así los periodos de servicio, permitiendo así el reemplazo de recipientes sin interrumpir el proceso. Este se realiza por medio de un par de válvulas reguladoras de vacío. Cuando se agota el suministro en operación el vacío del sistema sube a un nivel más alto que el normal. Este vacío incrementado supera la fuerza de cierre del mecanismo de espera y el suministro en relevo entra en línea, junto con el original. La alimentación desde ambos recipientes virtualmente asegura su vacío completo. Esta válvula está equipada con un calentador para prevenir relicuación del gas.

El orificio variable V-Notch consiste de un vástago maquinado a precisión que se desliza por un anillo fijo. Cualquier posición del vástago en el anillo resulta en un tamaño específico de orificio con su correspondiente capacidad. El vástago se puede desplazar hasta 76 mm (3 in), y está construido en un material plástico auto lubricante, con resistencia a la corrosión y al ataque químico. El vacuometro del frente indica el vacío del inyector, otro da la lectura del vacío en el sistema. Una alta lectura en este medidor indica un suministro de cloro interrumpido o agotado. La capacidad es la posición manual del V-Notch y es fácil de leer en un rotámetro de 25 cm de longitud. El rotámetro está montado sobre un resorte. El modulo posee una válvula para el alivio de vacío que admite aire a condiciones de alto vacío, como cuando se agota el suministro de gas. Las válvulas reguladoras de vacío se ajustan en fábrica para reducir la presión del recipiente a un vacío óptimo de operación; con la opción de ser reajustadas con una llave especial. Las válvulas reguladoras de vacío vienen construidas en plástico compacto y metales capaces de resistir toda la presión de suministro. El inyector es en PVC con una garganta ajustable. La máxima presión en la entrada del inyector es de 125 PSI y la mínima presión en la entrada del inyector es de 20 PSI. Los vacuometros son tipo diafragma fluorocarbono lleno de aceite, el cual es apto para impedir que el suministro de cloro entre en el manómetro y pueda obstruir el funcionamiento normal. Para el caso de los

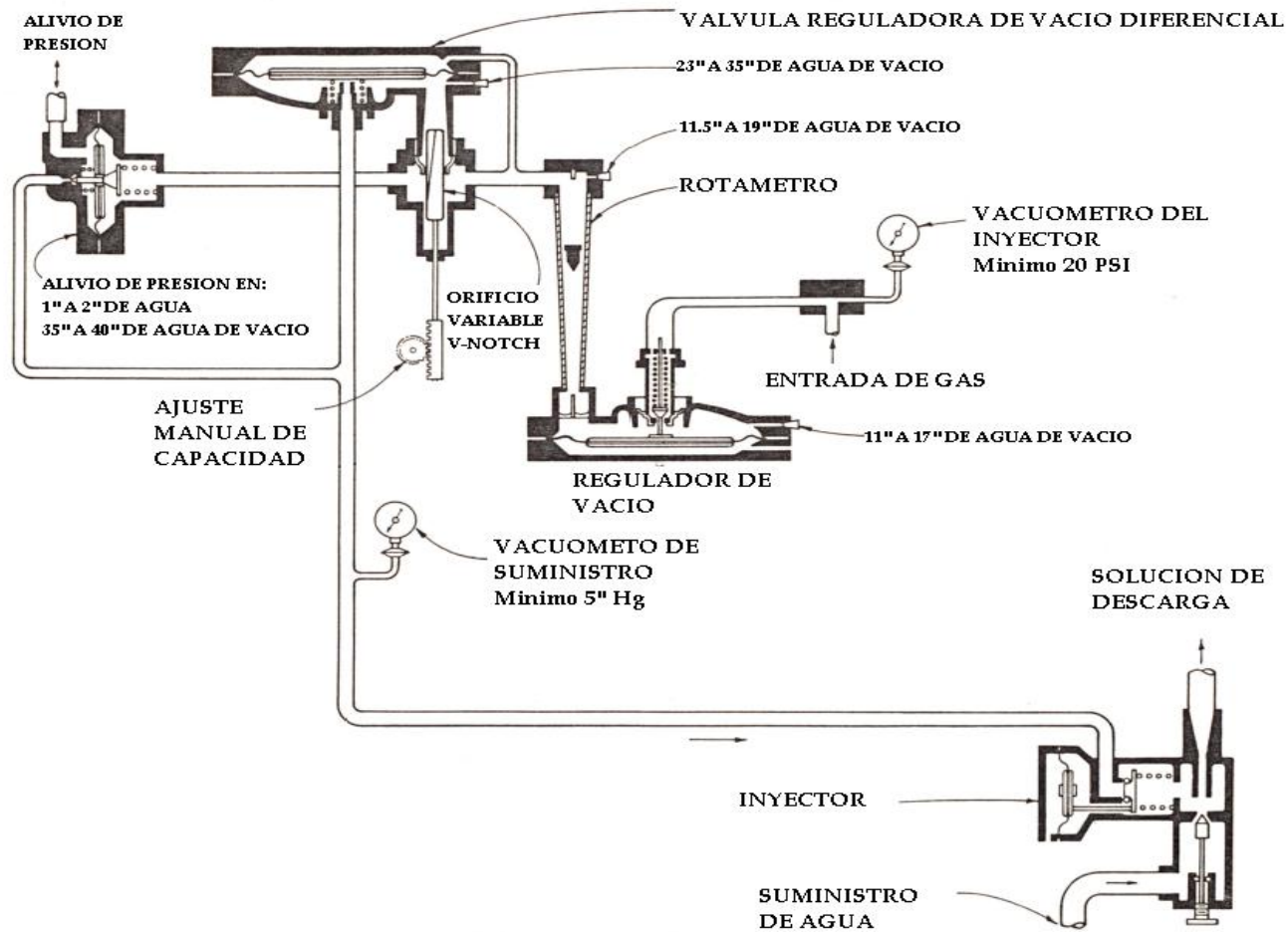
cloradores de la etapa de precloración, su funcionamiento es similar, pero con algunas diferencias de montaje, ya que los estos equipos no cuentan con el conmutador automático de cambio de suministro de gas en caso de los contenedores se vacíen. Además la válvula de alivio de vacío y alivio de presión se encuentra conectada a la salida de la válvula reguladora de vacío diferencial, y pilotada con la salida del rotámetro. Los equipos de la etapa de postcloración tienen una capacidad cada uno de 900 Kg de Cl<sub>2</sub>/Día, que como ya lo se había dicho para el caso de un caudal de agua de 2000 l/s nos daría una dosis de 5.2 ppm, y los equipos de precloración cada uno con una capacidad de 450 Kg de Cl<sub>2</sub>/Día nos daría una capacidad de 2.6 ppm. Para el buen funcionamiento del inyector, el fabricante recomienda que la solución de descarga contenga una concentración máximo de 3500 ppm, esto quiere decir que si los dos cloradores están funcionando a plena carga, el requerimiento mínimos de agua para todo el sistema de cloración será de alrededor de 6 L/s para que los inyectores funcionen eficientemente, este requerimiento debe venir del subsistema de suministro de agua que se describirá posteriormente. Otro de los puntos que se necesitan tener en cuenta para el buen funcionamiento del sistema de cloración es que cada tanque está en capacidad de suministrar cloro en estado gaseoso a un máximo de 240 Kg de Cl<sub>2</sub>/Día, lo que quiere decir que en la etapa de postcloración es necesario conectar 4 contenedores en paralelo para el suministro de cloro, y 4 contenedores mas para el cambio automático, para el caso de la precloración solo se necesitan 2 contenedores en paralelo, y dos contenedores mas conectados pero con las válvulas cerradas para hacer el cambio manualmente. A continuación se muestra un esquema de los cloradores de postcloración.

Figura 73. Esquema básico de los cloradores de la etapa de postcloración



Fuente: US FILTER, Series V-2000 Chlorinator

Figura 74. Esquema básico de los cloradores de la etapa de precloración

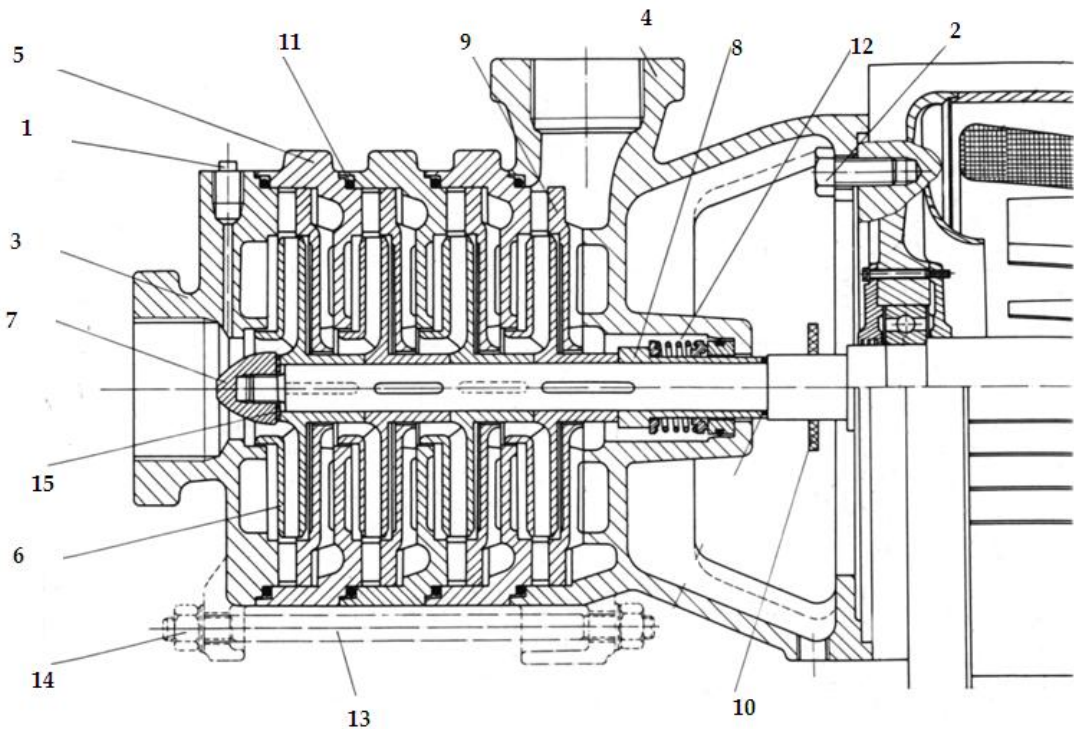


Fuente: US FILTER, Series V-800 Chlorinator

#### 4.2.1.2. Descripción del Subsistema de Suministro de Agua

El subsistema de suministro de agua comienza en las bombas y las válvulas de succión y descarga, la cual conduce el agua por la tubería hasta el inyector. El principio constructivo de la bomba es su diseño monobloque, donde las etapas hidráulicas usan el mismo eje del motor eléctrico, ofreciendo concentricidad rotativa a todos los elementos de la bomba. Con esto se eliminan los problemas de montaje y la necesidad de estar revisando la alineación entre bomba y motor. Cada bomba viene equipada con sello mecánico e impulsores balanceados. Los materiales de construcción de los elementos del cuerpo de bomba, los impulsores y difusores, son de fundición de hierro gris. El eje se fabrica en acero al carbono AISI 1045.

Figura 75. Esquema General de las Bombas de Cloración



Fuente: HIDROMAC, Manual de Instalación y Mantenimiento.

El punto de operación de la bomba es a 3.5 l/s generando una altura manométrica de 102 m.c.a. o 145 psi, y si a esto se le resta las pérdidas de la tubería y accesorios, se tendrá una presión en la entrada del inyector de 81 m.c.a. o 115 psi, esto está dentro del rango de presión para el buen desempeño del inyector el cual debe estar entre 20-125 psi. Como ya se ha visto el sistema de cloración requiere un caudal de agua mínimo de 6 l/s, para lo cual se requieren 2 bombas funcionando en el caso de que la planta este funcionando a máxima capacidad. A continuación se presentan los componentes básicos de la bomba.

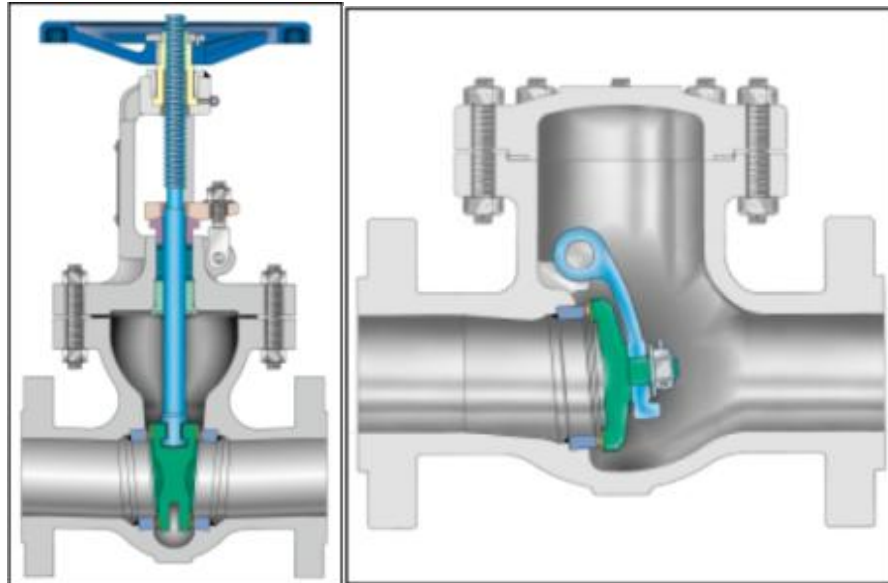
Tabla 11. Componentes de las Bombas de Cloración

N°	COMPONENTE	CANTIDAD	DIMENSIONES	MATERIAL
1	Tapón de 1/4" Gas	1	RG 1/4"	Bronce
2	Tornillo 1/2" x 1	4	1/2" x 1"	Acero
3	Carcasa de succión	1	-	Fundición Gris
4	Carcasa de descarga	1	-	Fundición Gris
5	Carcasa intermedia	5	-	Fundición Gris
6	Impulsor	5	-	Fundición Gris
7	Tuerca para impulsor	1	-	Acero Inoxidable
8	Bocina de protección	1	-	Acero Inoxidable
9	Difusor	4	-	Fundición Gris
10	Anillo contra goteo	1	-	Buna
11	O-RING	4	-	Buna
12	Sello mecánico	1	7/8"	Cerámica
13	Esparrago	4	1/2"	Acero
14	Tuerca	8	1/2"	Acero
15	Arandela de presión	1	9/16"	Acero

La succión de la bomba comienza en una tubería de 10" de la cual se deriva una tubería de 6" en la cual está montada una válvula de compuerta de vástago ascendente, a su vez de esta tubería se deriva la dos tuberías de 3", una para cada bomba, en la cual se encuentra otra válvula de compuerta de vástago ascendente,

seguida de la bomba. La descarga de la bomba es en tubería de 2" en la cual esta una válvula antiretorno seguida de una válvula de vástago ascendente.

Figura 76. Válvulas de compuerta de vástago ascendente y válvula antiretorno.



Fuente: VELAN, Cast Steel Gate, Globe and Check Valves.

Justo antes de la entrada del inyector se encuentra un filtro en Y tipo rasera para prevenir posibles objetos extraños en el inyector y una válvula de bola en PVC.

Figura 77. Válvula de bola de PVC con casquillos roscados NPT

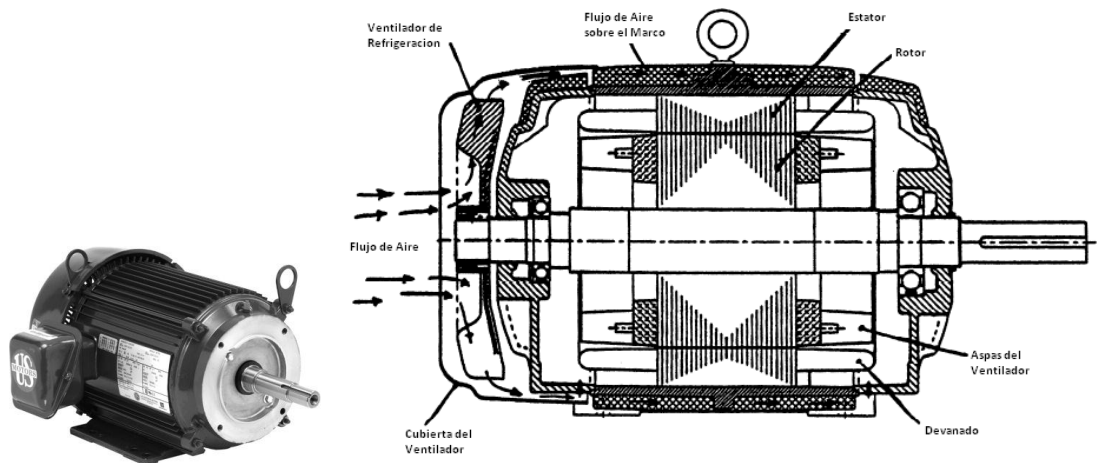


Fuente: GEORG FISCHER PIPING SYSTEMS LTD, Ball Valves Data Sheet

#### 4.2.1.3. Descripción del Subsistema Eléctrico

El motor de las bombas de cloración es asíncrono trifásico cerrado con ventilación de 10 hp y 3500 rpm conectado a 440 v y 12 A está formado por un rotor y un estator en el cual se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí  $120^\circ$ . El motor Jaula de Ardilla consta de un rotor constituido por una serie de conductores metálicos dispuestos paralelamente unos a otros y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos. Está jaula se rellena de material, normalmente chapa apilada, la cual tiene un sistema físico eficaz y simple.

Figura 78. Motor de las Bombas de Cloración

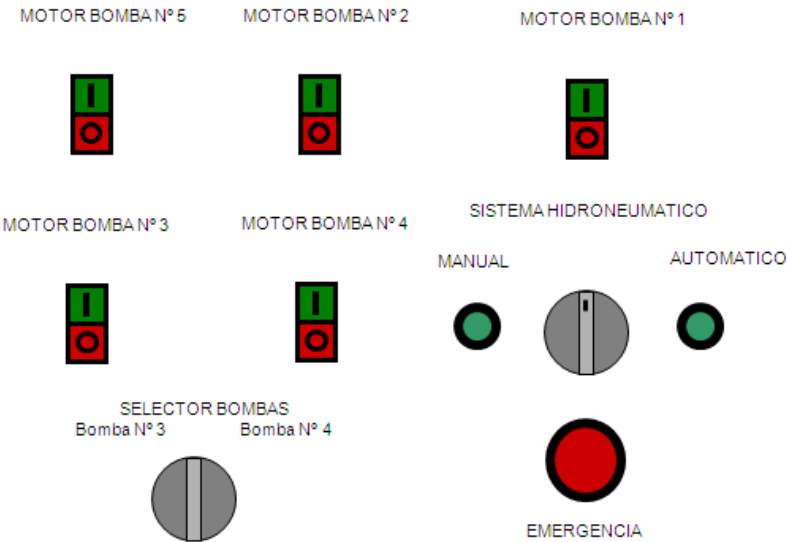


Fuente: US MOTORS ELECTRIC, Nema three phase ac horizontal motor.

Este tipo de carcasa impide el libre intercambio de aire entre el interior y el exterior, pero no hace el motor totalmente hermético. Un ventilador se une al eje y empuja el aire sobre la carcasa en su funcionamiento para ayudar en el proceso de enfriamiento. La carcasa está diseñada para aumentar la superficie de refrigeración.

La puesta en marcha de las bombas de cloración se hace desde el tablero de control, ubicado en la estación de bombeo. Este contiene los interruptores de encendido o apagado, protecciones de carga para cada motor que corta la electricidad si la corriente consumida excede 15 A. También posee un interruptor contra cortocircuitos de 40 A.

Figura 79. Tablero de Control de las Bombas de Cloración, Lavado y Suministro



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. Tableros de Control de Cloración

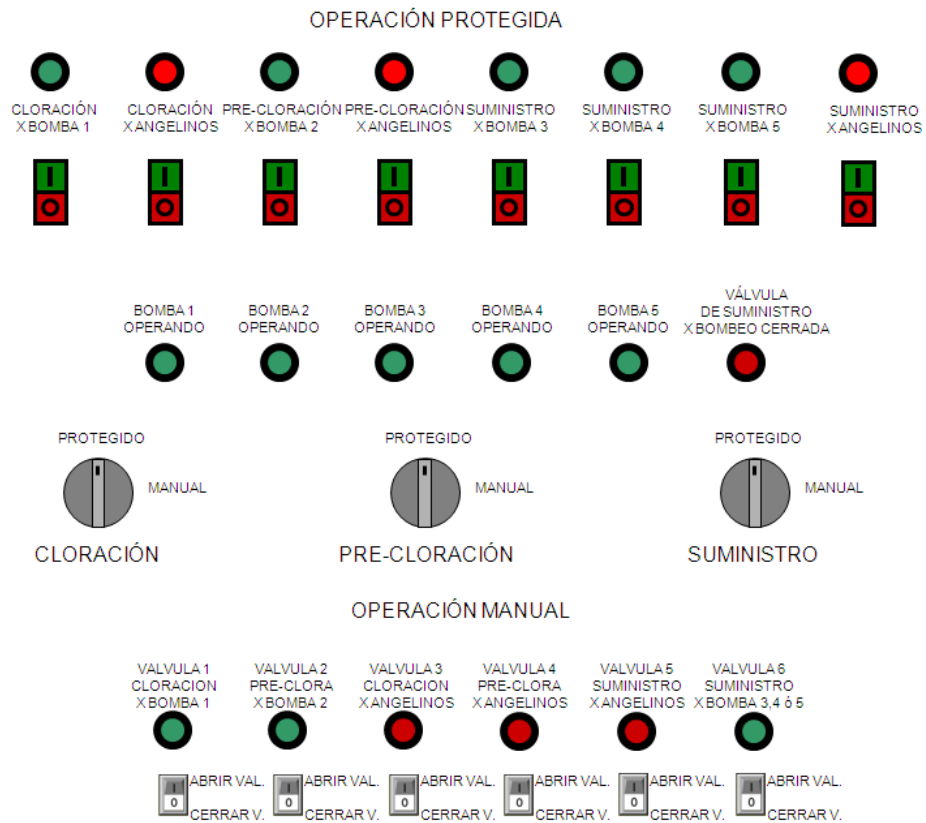
Figura 80. Protecciones de los Motores de Cloración



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. Tableros de Control de Cloración

En la sala de cloración se hace la operación manual o protegida de las electroválvulas, en este tablero de control no se encuentran protecciones, en cambio cuenta con luces si la bomba está operando, un selector para operar y luces de operación manual o protegida de las válvulas y los interruptores de apertura y cierre de válvulas.

Figura 81. Tablero de Control de Válvulas de Cloración y Suministro




Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P. Tableros de Control de Cloración


#### 4.2.2. Hoja de Información del Sistema de Cloración

El paso a seguir en el proceso de análisis RCM del sistema de cloración es el llenado de la hoja de información, en donde se definen las funciones, fallas funcionales y se realiza en análisis de modos de fallas y sus efectos AMFE.


Tabla 12. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	1	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	Suministra cloro gaseoso al proceso hasta una rata de 900 Kg/día	A	No suministra cloro	1	Ausencia de contenedor de cloro	Si por alguna razón los contenedores de suministro de cloro quedan vacíos por su uso, y el respectivo suministro de cloro por parte de la empresa contratista no llega a tiempo, el sistema se quedaría sin la materia prima necesaria para la desinfección del agua tratada. El sistema no funcionaría. La opción sería suministrar otro desinfectante de forma solida, dosificándolo manualmente directamente en el tanque.
				2	Contenedor de cloro vacío	El contenedor de cloro solo queda vacío cuando se ha consumido la totalidad del cloro disponible en el. En este caso el conmutador automático actúa, colocando en servicio el contenedor de reserva. Si no se realiza a tiempo el cambio del contenedor vacío, el contenedor de reserva puede agotarse y dejar sin suministro de cloro al sistema. El rotámetro indica que no hay flujo de cloro hacia el sistema.
				3	Válvula de contenedor cerrada	La válvula del contenedor solo es utilizada cuando hay que realizar un cambio de contenedor. Si la válvula del contenedor queda cerrada luego de un cambio de contenedor, el sistema seguirá funcionando hasta que el conmutador automático realiza el cambio de contenedor. En este momento es suministro de cloro se para y el rotámetro indica que no se está realizando dosis de cloro.
				4	Válvula de contenedor bloqueada	Si la válvula del contenedor de cloro se encuentra bloqueada por residuos de partículas provenientes del cloro mismo, esta no dejara salir el cloro del contenedor. El contenedor no podrá ser utilizado y el suministro de cloro se detiene. El rotámetro indica que no hay flujo de cloro al sistema.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	2	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Suministra cloro gaseoso al proceso hasta una rata de 900 Kg/día	A	(Continuación) No suministra cloro	5	Válvula de línea cerrada	La válvula del línea solo es utilizada cuando hay que realizar un mantenimiento a los equipos o cuando existe un fuga de cloro y se requiere aislar el sistema del contenedor. Si la válvula de línea queda cerrada luego de una intervención, el sistema no funcionara. En este momento es suministro de cloro se para y el rotámetro indica que no se está realizando dosis de cloro.
				6	Válvula de entrada al clorador cerrada	La válvula de entrada al clorador solo es utilizada cuando hay que realizar una intervención para algún mantenimiento. Si la válvula de entrada al clorador queda cerrada luego de una intervención, no habrá paso de cloro hacia los equipos de cloración. En este momento es suministro de cloro se para y el rotámetro indica que no se está realizando dosis de cloro.
				7	Conexión flexible bloqueada o obstruida	La conexión flexible puede obstruirse o bloquearse por residuos que trae el cloro y se pueden condensar por el recorrido de la conexión. Esta conexión es susceptible a taponarse por su diámetro. En este caso no hay suministro de cloro al sistema y el rotámetro indica que no hay flujo de cloro al sistema.
				8	Filtro tipo rasera tapado	Los contaminantes en el cloro se atrapan en el filtro, protegiendo a los equipos, a medida que el filtro comienza a ensuciarse la presión a través del filtro aumenta, en algún momento, la sistema no puede suministrar el flujo de cloro requerido al proceso. El rotámetro indica que no hay suministro de cloro al sistema.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	3	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Suministra cloro gaseoso al proceso hasta una rata de 900 Kg/día	A	(Continuación) No suministra cloro	9	Diafragma de la válvula reguladora de vacío averiado	El diafragma de la válvula reguladora de vacío de avería por desgaste y uso del mismo. Cuando este diafragma se avería, la válvula reguladora de vacío no abre y queda bloqueado el suministro de cloro al sistema. El rotámetro indica que no hay flujo al sistema.
				10	Válvula reguladora de vacío obstruida	La válvula reguladora de vacío se obstruye por residuos de cloro y componentes del mismo que se quedan atascados en el orificio de paso. Si este orificio de paso se taponan no habrá flujo de cloro al sistema como lo indica el rotámetro.
				11	Válvula reguladora de vacío cerrada	La válvula reguladora de vacío solo se cierra cuando hay alguna intervención en el sistema. Si después de esta intervención la válvula queda cerrada, no será posible suministrar cloro al sistema y el rotámetro indica que no hay flujo.
				12	Válvula antiretorno obstruida	La válvula antiretorno se puede obstruir por partículas arrastradas por el cloro en el sistema, si este orificio se obstruye no va poderse suministrar cloro al sistema. El sistema se detiene y el rotámetro indica que no hay flujo al sistema.
				13	Diafragma de la válvula antiretorno averiado	Si el diafragma de la válvula antiretorno se avería el sistema deja de funcionar ya que la válvula no se puede abrir, este se avería por uso y desgaste del mismo. El rotámetro indica que no hay flujo de cloro al sistema.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	4	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Suministra cloro gaseoso al proceso hasta una rata de 900 Kg/día	A	(Continuación) No suministra cloro	14	Válvula reguladora de vacío diferencial obstruida	La válvula reguladora de vacío diferencial se obstruye por residuos de cloro y componentes del mismo que se quedan atascados en el orificio de paso. Si este orificio de paso se taponan no habrá flujo de cloro al sistema como lo indica el rotámetro.
				15	Diafragma de la válvula reguladora de vacío diferencial averiado	Si el diafragma de la válvula reguladora de vacío diferencial se avería el sistema deja de funcionar ya que la válvula no se puede abrir, este se avería por uso y desgaste del mismo. El rotámetro indica que no hay flujo de cloro al sistema.
				16	Diafragma del inyector averiado	Si el diafragma del inyector se avería por uso y deterioro del mismo, este no va a abrir la válvula antiretorno. El sistema no va a suministrar el cloro necesario y el rotámetro indicara cero flujos.
				17	Válvula antiretorno del inyector bloqueada	La válvula antiretorno del inyector se puede bloquear por algún objeto que hubiera quedado en el interior en el sistema después de alguna intervención. El sistema no suministrara el cloro al proceso y el rotámetro registrara que no hay flujo.
				18	Falla del suministro de agua	El suministro de agua se analiza por separado
		B	Suministra cloro a una rata menor a 900 Kg/día	1	Garganta del inyector obstruida	Si la garganta del inyector está obstruida, este no creara la presión necesaria en el sistema para poder ponerlo en su máximo funcionamiento. Este podrá suministrar cloro pero no llegara a su máxima dosis.
				2	Falla del suministro de agua	El suministro de agua se analiza por separado


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	5	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	Contener el cloro liquido y gaseoso	A	No contiene el cloro liquido	1	Rosca de la válvula del contenedor desgastada	La rosca de la válvula del contenedor puede desgastarse en los mantenimientos antes de ser recargado el contenedor. Si esta rosca se desgasta demasiado, en algún momento no podrá contener el cloro del contenedor. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
				2	Rosca del fusible de alivio del contenedor desgastada	La rosca del fusible de alivio del contenedor puede desgastarse en los mantenimientos antes de ser recargado el contenedor. Si esta rosca se desgasta demasiado, en algún momento no podrá contener el cloro del contenedor. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
				3	Material fusible extruido	Si el material fusible esta extruido fuera del fusible total o parcialmente, es posible que en cualquier momento este se salga por completo de su posición y presente fugas de cloro. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
				4	Desgaste o corrosión del contenedor.	El tanque está pintado en la parte exterior para inhibir la corrosión y la pintura tiene una vida de diseño de 5 años. Con el tiempo la pintura se desgasta, la humedad alcanza el tanque y comienza a corroerse. En algún momento la corrosión ataca la pared del tanque y la pared de este se agrieta dejando escapar cloro. En el interior el tanque va desgastándose por efecto del cloro mismo. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
				5	Falla en la válvula del contenedor	Si el mecanismo de apertura y cierre de la válvula falla, ya sea por el vástago o por el asiento del mismo, este va a presentar fugas. Esto se debe al deterioro normal de la válvula. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	6	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	(Continuación) Contener el cloro liquido y gaseoso	A	(Continuación) No contiene el cloro liquido	6	Empaque del filtro tipo rasera averiado	Si el empaque del filtro tipo rasera falla, este no podrá contener el cloro liquido que se deposita en el. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
		B	No contienen el cloro gaseoso	1	Juntas de tuberías y accesorios desgastados	Las juntas al desgastarse, se cristalizan y deja pasar cierta cantidad de cloro. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
				2	Tuberías corroídas o pintura desprendida	Las tuberías están pintadas en la parte exterior para inhibir la corrosión y la pintura tiene una vida de diseño de 10 años. Con el tiempo la pintura se desgasta, la humedad alcanza el tanque y comienza a corroerse. En algún momento la corrosión ataca las tuberías y las agrieta dejando escapar cloro. Cualquier fuga de cloro puede ser mortal para el personal de la empresa.
3	Permitir variar la rata de suministro de cloro gaseoso entre 0 y 900 Kg/día	A	No permite variar la rata de suministro de cloro	1	Falta de lubricación en el engrane y cremallera del regulador	Si no hay suficiente lubricante en la cremallera engrane del regulador, este puede obstruirse y presentar un mayor grado de fricción en el sistema de regulación. En algún momento algunos dientes de la cremallera o del engrane se parten, y no se puede variar la rata de cloro a suministrar. Esto trae consecuencias operacionales porque no se cumple con la calidad del producto requerida.
4	Prevenir que cloro liquido entre en el sistema y equipos	A	No previene que cloro liquido ingrese al sistema	1	Cilindro en mala posición de servicio	Si el cilindro se conecta y se coloca en posición en la cual por la válvula del contenedor se encuentra en la zona de cloro liquido, es posible que algo de este cloro entre al sistema. El cloro líquido daña los equipos de cloración y puede obstruir válvulas.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	7	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
4	(Continuación) Prevenir que cloro liquido entre en el sistema y equipos	A	(Continuación) No previene que cloro liquido ingrese al sistema	2	Rasera del filtro rebosada de cloro liquido	La rasera del filtro de cloro está diseñada para que si algo de cloro se condensa en los ductos, este se deposite en el fondo del filtro. Si por alguna razón este cloro en la rasera no se gasifica de nuevo es posible que esta se rebose de cloro líquido y comience a dejar pasar cloro líquido a los equipos. El cloro líquido daña los equipos de cloración y puede obstruir válvulas.
5	Realizar el cambio automático de contenedor vacío a contenedor lleno	A	No realiza el cambio automático	1	Válvula reguladora de vacío auxiliar cerrada	La válvula reguladora de vacío solo se cierra cuando hay alguna intervención en el sistema. Si después de esta intervención la válvula queda cerrada, no será posible realizar el cambio automático de contenedor, no se suministrar cloro al sistema y el rotámetro indica que no hay flujo.
				2	Válvula de línea auxiliar cerrada	La válvula del línea solo es utilizada cuando hay que realizar un mantenimiento a los equipos o cuando existe un fuga de cloro y se requiere aislar el sistema del contenedor. Si la válvula de línea queda cerrada luego de una intervención, el sistema no funcionara. En este momento es suministro de cloro se para y el rotámetro indica que no se está realizando dosis de cloro.
6	Prevenir una explosión en el tanque aliviando la presión en el tanque si la temperatura aumenta hasta 65 °C	A	No previene la explosión del contenedor si la temperatura aumenta hasta 65 °C	1	Salida del material fusible obstruida - metal del fusible tapando el material fusible	Si el material fusible esta obstruido por el material que lo rodea en el fusible, ya sea por defecto de fabricación o por algún tipo de golpe recibido, este no va poder extruirse cuando se llegue a la temperatura de 65 °C. Este fusible solo se utiliza en estas emergencias, por ejemplo un incendio en la sala de cloración. El contenedor puede explotar por la presión interna y causar daños o hasta la muerte del personal.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	8	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
7	Permitir que las válvulas del contenedor y de paso de cloro se puedan abrir fácilmente con la llave K200	A	No permite abrir fácilmente las válvulas del contenedor y de paso de cloro	1	Atascamiento de la rosca interna del vástago de la válvula	Si la rosca interna de la válvula del contenedor o de paso de cloro se atascan, no será fácil poderlas abrir con la llave K200, el contenedor se cambiara por otro y se devuelve al proveedor. Se debe revisar la rosca de la válvula para ver que no presente defectos de obstrucción.
				2	Cuadrante de agarre con la llave defectuoso	Si el cuadrante de las válvulas de contenedor o de paso de cloro se encuentra desgastado por fatiga y uso, no se podrá abrir fácilmente con la llave K200. Se cambia por un contenedor nuevo que se pueda abrir fácilmente.
				3	Ajuste excesivo de los empaques del vástago	Si los empaques de la válvula del contenedor o de paso de cloro se comprimen demasiado, va a ser difícil accionar la válvula y existe la posibilidad de que el cuadrante donde se encaja la válvula se deteriore. Se debe cambiar por un contenedor que se pueda abrir fácilmente con la llave.
8	Prevenir que impurezas entren en el sistema	A	No previene que impurezas entren al sistema	1	elemento del filtro tipo rasera ausente	Si el elemento del filtro está ausente, las impurezas en el agua no son retenidas al ingresar al inyector, estas partículas aceleran el desgaste del inyector.
				2	elemento del filtro tipo rasera roto	Si el elemento del filtro se rompe durante la instalación, las impurezas del agua no son retenidas al ingresar al inyector. Estas partículas desgastan el inyector.
9	Observar en el rotámetro la medida de suministro de cloro	A	No permite observar en el rotámetro la medida de suministro de cloro	1	Impresión de escala en el rotámetro desgastada	Si la impresión en el rotámetro se desgasta con el paso del tiempo, no va a ser posible observar la cantidad de cloro que se va a suministrar al sistema. Esto podría causar una dosis errónea, saliéndose de los estándares de calidad exigidos.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	9	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
10	Permitir aliviar presión en el sistema en caso que la presión exceda 10 in agua	A	No alivia presión en el sistema cuando excede de 10 in agua	1	Válvula bloqueada en posición cerrada	La válvula de alivio de presión se puede bloquear en posición cerrada por algún objeto extraño que quede dentro de esta después de una intervención. La válvula solo se acciona si la válvula reguladora de presión queda trabada en posición abierta. La presión buscara aliviarse por alguna conexión débil del sistema y presentar una fuga más grave.
				2	Obstrucción del agujero de alivio	Si el agujero de la válvula de alivio de presión se obstruye por partículas provenientes del mismo cloro, esta no podrá abrirse a la presión deseada. La válvula solo se acciona si la válvula reguladora de presión queda trabada en posición abierta. La presión buscara aliviarse por alguna conexión débil del sistema y presentar una fuga más grave.
		B	Alivia presión en el sistema antes de que esta alcance las 10 in agua	1	Taraje de la válvula equivocado	La válvula viene tarada de fábrica para que se accione a la presión indicada, si por alguna razón este taraje se ve afectado, la válvula no va a abrirse a la presión deseada. De esta manera la válvula abrirá con cualquier incremento leve de presión y presenta fuga de cloro. Esto puede afectar la salud de los operadores de la planta. Esta válvula solo se acciona si la válvula reguladora de vacío queda trabada en posición abierta
				2	Ausencia de resorte de presión	Si el resorte de la válvula de aliviar presión está ausente después de una intervención, la válvula va a abrir muy fácilmente, por no decir que permanecerá abierta y presentara fugas de cloro. Esto puede afectar la salud de los operadores de la planta. Esta válvula solo se acciona si la válvula reguladora de vacío queda trabada en posición abierta.


(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	10	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
11	Observar la presión de vacío en el inyector y en el rotámetro con un error máximo de 20%	A	Indica la presión en el inyector en el inyector con un error mayor al 20%	1	Vacuometro del inyector descalibrado	Si el vacuometro del inyector esta fuera de calibración y provee errores en las lecturas mayores al 20%. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.
		B	No indica la presión de vacío en el inyector	1	Caratula del vacuometro del inyector partido por golpe	Si la caratula del vacuometro del inyector se parte por un golpe, no se puede visualizar la presión de vacío en el inyector, y es difícil diagnosticar daños en el sistema.
		C	Indica la presión en el inyector en el rotámetro con un error mayor al 20%	1	Vacuometro del rotámetro descalibrado	Si el vacuometro del rotámetro esta fuera de calibración y provee errores en las lecturas mayores al 20%. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.
		D	No indica la presión de vacío en el rotámetro	1	Caratula del vacuometro del rotámetro partido por golpe	Si la caratula del vacuometro del rotámetro se parte por un golpe, no se puede visualizar la presión de vacío en el rotámetro, y es difícil diagnosticar daños en el sistema.
12	Observar el peso de los contenedores con un error máximo de 5%	A	Indica el peso de los contenedores con un error mayor al 5%	1	Presencia de aire en el sistema hidráulico	Si el sistema no se desaira adecuadamente después de un mantenimiento, este va a presentar una lectura errónea en la balanza. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.
				2	Balanza descalibrada	Si balanza esta fuera de calibración y provee errores en las lecturas mayores al 5%. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.
				3	Objeto extraño en la parte inferior de la balanza	Si existen objetos extraños en la parte inferior de la balanza, se va a tener una lectura errónea del peso del contenedor. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.

(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	11	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
12	(Continuación) Observar el peso de los contenedores con un error máximo de 5%	B	No indica el peso de los contenedores	1	Diafragma del sistema hidráulico roto	Si el diafragma del sistema hidráulico se avería, no va a ser posible observar el peso del contenedor en la balanza. A su vez no se podrá saber cuáles contenedores ya se encuentran vacíos y cuales llenos. Esto interfiere con la operación normal del sistema.
				2	Tubo bourdon averiado	Si el sistema interno de la balanza falla, en especial el tubo bourdon, no va a ser posible tomar la medida del peso de los contenedores, no se podrá saber cuales se encuentran llenos y cuales vacíos. Esto interfiere con el normal desarrollo de la operación. Esto se puede romper por al exterior.
13	Prevenir que los contenedores rueden fuera de la balanza	A	No previene que los contenedores rueden	1	Apoyos de la balanza averiados por fatiga	Con el tiempo los apoyos se van desgastando por fatiga, ya que sobre estos se apoyan las ruedas de la balanza, y se van deflectando. Si un par de estos apoyos llega a fallar, puede causar que el tanque no permanezca en el sitio y hacerlo rodar. Esto puede causar la rotura del contenedor y presentar fugas de cloro grandes peligrosas para el personal, y comunidad cercana hasta causar la muerte.
14	Permitir girar el contenedor en la balanza para colocarlo en posición de servicio	A	No permite que los contenedores giren fácilmente	1	Ruedas desgastadas por fatiga	A medida que pasa el tiempo, por causas de tiempo de operación, las ruedas van perdiendo su forma debido al peso del contenedor que tiene que soportar. En algún momento el difícil colocar el contenedor en posición de servicio y interfiere con la libre operación del mismo.

(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema	CLORACION		Facilitador	Hoja N°
					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	12
		Subsistema	SUMINISTRO DE CLORO		Auditor	de
					Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
14	(Continuación) Permitir girar el contenedor en la balanza para colocarlo en posición de servicio	A	(Continuación) No permite que los contenedores giren fácilmente	2	Lubricante de las ruedas consumido	El lubricante en las ruedas de la báscula se consume con la operación, lo que aumenta la fricción y acelera el desgaste de las mismas. La rueda comienza a ser difícil girarla y no permite colocar el contenedor en posición de servicio. En algún momento interfiere con la fácil operación del contenedor de cloro.
15	Indicar que el cloro es un gas toxico, mortal y oxidante.	A	No indica que el cloro es un gas toxico, mortal y oxidante	1	Aviso deteriorado	Con el tiempo la pintura se desgasta y el mensaje del aviso se hace menos visible. Esto aumenta el riesgo de las personas que se encuentran en el lugar o cerca del mismo, no tomen las precauciones adecuadas tales como: usar ropa e implementos de protección, usar mascara de respiración y equipo de fugas de cloro. Esto puede causar daños o incluso la muerte al personal.
				2	Aviso obstruido o no visible	Durante el trabajo en el área la señal puede ser cubierta. Esto aumenta el riesgo de que las personas que se encuentran en el lugar o cerca del mismo no tomen las precauciones adecuadas tales como: usar ropa y implementos de protección, usar mascarad e respiración y equipo de fugas de cloro. Esto puede causar daños o incluso la muerte al personal.
				3	Aviso sucio	Con el tiempo, la suciedad se acumula en el aviso, y el mensaje del mismo es menos visible. Con cierto grado de suciedad el mensaje se torna ilegible. Esto aumenta el riesgo de que las personas que se encuentran en el lugar o cerca del mismo no tomen las precauciones adecuadas tales como: usar ropa y implementos de protección, usar mascarad e respiración y equipo de fugas de cloro.

(Continuación) Tabla 12.Hoja de Información – Cloración – Suministro de Cloro




F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	13	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE CLORO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	13	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
16	Lucir aceptable	A	No luce aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura en los contenedores, tubería y demás equipos se desprende y se ve desagradable antes de que las propiedades de protección a la corrosión se vean afectadas, esto exhibe una imagen desagradable.
				2	Equipos sucios	Un equipo sucio exhibe una imagen inaceptable a los empleados y personal en general. Dificulta realizar de manera correcta la inspección visual sobre los equipos y el mantenimiento de los mismos.


Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	1	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar agua al proceso de cloración a un flujo de 3 l/s	A	No suministra agua	1	Impulsores bloqueados por objeto extraño	Si un objeto extraño, está presente en el sistema luego de una intervención, ingresa a la bomba, bloquea el impulsor, el motor se sobrecarga, la protección del motor contra sobrecarga se activa y el sistema se detiene. El sistema no puede suministrar agua al proceso.
				2	Válvula de succión cerrada	La válvula de succión solo se utiliza cuando se está interviniendo el sistema de suministro de agua, el sistema está fuera de servicio. Si la válvula de succión queda cerrada luego de una intervención y, en el arranque la bomba se queda sin agua, la bomba comienza a tener problemas por daño en el sello mecánico y rodamientos del motor por sobrecalentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.
				3	Válvula de descarga cerrada	La válvula de descarga solo se utiliza cuando se está interviniendo el sistema de suministro de agua, el sistema está fuera de servicio. Si la válvula de descarga queda cerrada luego de una intervención y, en el arranque la bomba está llena de agua, la bomba comienza a tener problemas por daño en el sello mecánico y rodamientos del motor por sobre calentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.


(Continuación) Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja Nº</b>	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	2	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Suministrar agua al proceso de cloración a un flujo de 3 l/s	A	(Continuación) No suministra agua	4	Válvula antiretorno de descarga bloqueada en posición cerrada	Si la válvula de antiretorno queda bloqueada en posición cerrada por algún objeto extraño después de una intervención, en el arranque la bomba está llena de agua, la bomba comienza a tener problemas por daño en el sello mecánico y rodamientos del motor por sobre calentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.
				5	Entrada de aire a la bomba por la tubería de succión	Si una bolsa de aire o gas queda en la bomba después de una intervención, y la bomba no es desairada adecuadamente, esta puede entrar los impulsores y obstruir el paso de agua en la descarga, pudiendo dañar el impulsor. El sistema no suministra agua al proceso.
				6	Falla en el sistema eléctrico	El sistema eléctrico se analiza por separado
		B	Suministra agua a un flujo menor a de 3 l/s	1	Impulsores de la bomba desgastado por corrosión o erosión	Si alguno de los impulsores de la bomba esta desgastado tiene un diámetro inferior y el flujo a través de la bomba disminuye gradualmente. En algún momento la bomba no es capaz de suministrar la cantidad de agua requerida en el proceso, interfiriendo en el óptimo funcionamiento del inyector.
				2	Filtro Y de entrada al inyector tapado	Los contaminantes en el agua se atrapan en el filtro, protegiendo el inyector, a medida que el filtro comienza a ensuciarse la presión a través del filtro aumenta, en algún momento, la bomba no puede suministrar el flujo de agua requerido al proceso interfiriendo con el optimo funcionamiento del inyector.


(Continuación) Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	3	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Suministrar agua al proceso de cloración a un flujo de 3 l/s	B	(Continuación) Suministra agua a un flujo menor a de 3 l/s	3	Cuñas de unión entre eje y impulsores con huelgo	Si las cuñas que ajustan los impulsores al eje se desgastan y toman huelgo, estas dejaran de transmitir la potencia requerida por la bomba. Los impulsores quedan sueltos y el fluido pierde energía hidráulica. El flujo de agua se ve disminuido hasta el punto que es menor a 3 l/s
				4	Tuerca de los impulsores desajustado	Si la tuerca que ajusta los impulsores queda desajustada después de una intervención, esta con un mínimo de vibración se suelta completamente, en algún momento uno de los impulsores se desajusta y queda sin la transmisión de potencia requerida. El fluido no está en la capacidad de suministrar 3 l/s al proceso.
				5	Desgaste excesivo de la carcasa y bocina de protección	La carcasa y la bocina de protección comienzan a desgastarse a medida que la bomba funciona, en algún momento esta superficies presentan una elevada rugosidad en su superficie, hasta el punto que la bomba pierde eficiencia y deja de suministrar 3 l/s de agua al proceso.
2	Contener el agua en el proceso	A	No contiene el agua	1	Juntas de tuberías y accesorios desgastada	Las juntas al desgastarse, se cristalizan y deja pasar cierta cantidad de agua. A medida que crece la fuga el sistema pierde presión y flujo de agua hacia el inyector. Cualquier fuga puede resultar en daños más graves por lo que se manejan equipos eléctricos de gran costo cercanos al área.

(Continuación) Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	4	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	(Continuación) Contener el agua en el proceso	A	(Continuación) No contiene el agua	2	Sello mecánico desgastado	Si el sello mecánico se desgasta por su uso normal, este va perdiendo la propiedad de evitar fugas a través del eje de la bomba. Debido a ese desgaste el sello no es capaz de contener el agua, y comienzan a presentarse fugas en el eje de la bomba. El agua puede llegar hasta el motor y presentar problemas en el sistema eléctrico.
				3	Sello mecánico rayado	El sello mecánico se puede rayar por sedimentos o partículas duras presentes en el agua. Si estas partículas llegan hasta el sello mecánico de la bomba, este puede rayarse y dejar de contener el agua en el sistema. La fugas de agua pueden llegar a dañar el motor o sistema eléctrico.
				4	Sello mecánico mal instalado	Si el sello mecánico queda mal instalado en la bomba, por exceso de presión en el mismo, este se va a desgastar mucho más rápido de lo normal, acabando su vida útil antes de lo esperado. En algún momento este presenta fugas por el eje de la bomba y deja de contener el líquido.
				5	O`ring de carcasa desgastado o roto	Si el empaque O`ring de la carcasa se desgasta por alguna vibración en ella y termina rompiéndose, este no perderá la capacidad de contener el agua y presentara fugas. Las fugas pueden causar problemas graves en el sistema eléctrico.
				6	Empaque de la tapa del filtro Y roto	Si el empaque de la tapa del filtro en la entrada al inyector se fatiga o se cristaliza este puede dejar de contener el agua en el proceso. La fuga de agua se presenta en una zona donde se encuentran equipos de cloración que pueden generar reacción.

(Continuación) Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja Nº</b>	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	5	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
3	Prevenir que impurezas lleguen al inyector	A	No previene que impurezas entren al inyector	1	Filtro Y tipo rasera ausente	Si el elemento del filtro está ausente, las impurezas en el agua no son retenidas al ingresar al inyector, estas partículas aceleran el desgaste del inyector.
				2	Filtro Y tipo rasera roto durante la instalación	Si el elemento del filtro se rompe durante la instalación, las impurezas del agua no son retenidas al ingresar al inyector. Estas partículas desgastan el inyector.
4	Impedir que agua regrese a la bomba cuando esta está fuera de servicio	A	No impide que agua regrese a la bomba	1	Falla en la válvula antiretorno en la tubería de descarga	La válvula antiretorno en la tubería de descarga puede fallar en el sello de la lengüeta, no pudiendo retener el líquido de regreso a la bomba. Esta falla ocurre por deterioro de la superficie de sellado y el sello de la lengüeta. También se puede desgastar la tuerca de ajuste de la válvula dejando la lengüeta suelta.
5	Bloquear el paso del agua a la bomba en la succión y descarga para efectos de mantenimiento	A	No bloquea el paso de agua en la succión y descarga en los mantenimientos	1	Obstrucción en la compuerta de succión por deterioro	La compuerta de succión puede fallar por deterioro en el sello y superficie del asiento de la compuerta. Esta superficie se desgasta a medida que crece su tiempo de operación. En determinado momento la compuerta no bloquea el paso de agua para permitir operaciones de mantenimiento.
				2	Vástago de la compuerta de succión trabado por falta de lubricación	Si el vástago de la compuerta de succión no está lo suficientemente lubricado, este llegara el momento en que se traba y es difícil o imposible operar la válvula. Si la válvula se traba en posición cerrada no se puede poner a funcionar el sistema. Si se traba en posición abierta, no se podrá aislar el sistema para trabajos de mantenimiento.

(Continuación) Tabla 13. Hoja de Información – Cloración – Suministro de Agua




F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	6	
		Subsistema		Auditor	de	
		SUMINISTRO DE AGUA		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	6	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
5	(Continuación) Bloquear el paso del agua a la bomba en la succión y descarga para efectos de mantenimiento	A	(Continuación) No bloquea el paso de agua en la succión y descarga en los mantenimientos	3	Obstrucción en la compuerta de descarga por deterioro	La compuerta de descarga puede fallar por deterioro en el sello y superficie del asiento de la compuerta. Esta superficie se desgasta a medida que crece su tiempo de operación. En determinado momento la compuerta no bloquea el paso de agua para permitir operaciones de mantenimiento.
				4	Vástago de la compuerta de descarga trabado por falta de lubricación	Si el vástago de la compuerta de descarga no está lo suficientemente lubricado, este llegara el momento en que se traba y es difícil o imposible operar la válvula. Si la válvula se traba en posición cerrada no se puede poner a funcionar el sistema. Si se traba en posición abierta, no se podrá aislar el sistema para trabajos de mantenimiento.
6	Lucir aceptable	A	No luce aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura en las válvulas y bombas se desprende y se ve desagradable antes de que las propiedades de protección a la corrosión se vean afectadas, esto exhibe una imagen desagradable.
				2	Equipos sucios	Un equipo sucio exhibe una imagen inaceptable a los empleados y personal en general. Dificulta realizar de manera correcta la inspección visual sobre los equipos y el mantenimiento de los mismos.


Tabla 14. Hoja de Información – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	1	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	Proporcionar una potencia mecánica de 10 HP a la bomba	A	No proporciona potencia mecánica	1	Rodamientos del eje del motor desgastados	Cuando el rodamiento presenta desgaste comienza vibrar, incrementa el ruido y se recalienta a medida que continúa el funcionamiento del motor. En algún momento el rodamiento falla. El motor trabaja en sobrecarga, se dispara la protección del motor contra sobrecarga y se apaga el bombillo indicador de motor en marcha en los tableros de control. El sistema no suministra la potencia requerida en el proceso.
				2	Grasa en el rodamientos del eje del motor consumida	La grasa de los rodamientos del eje se consume con la operación del motor, lo que aumenta la fricción con el eje y se acelera el desgaste. Los rodamientos comienzan a vibrar, incrementa el ruido y se calienta a medida que funciona el motor. En algún momento los rodamientos fallan y se frenan. El motor se sobrecarga, se dispara la protección del motor por sobrecarga y se apaga el bombillo indicador de motor en marcha en los tableros de control. El sistema no es capaz de suministrar potencia al proceso.
				3	Rodamientos del eje del motor con exceso de grasa	Si los rodamientos del eje reciben exceso de grasa, no son capaces de contenerla, los rodamientos se calientan, por lo tanto se dañan partes de los mismos, y quedan sin la grasa suficiente para reducir apropiadamente la fricción y, de esta manera acelera el desgaste. Los rodamientos comienzan a vibrar, incrementa el ruido y se calientan a medida que funciona el motor. En algún momento, el rodamiento falla y se frena. El motor de la bomba se sobrecarga, se dispara la protección del motor por sobrecarga y se apaga el bombillo indicador de motor en marcha en los tableros de control. El sistema no es capaz de suministrar potencia al proceso.


(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	2	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 10 HP a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	4	Material extraño en grasa en la grasa de los rodamientos - Grasa contaminada	Si los rodamientos del eje reciben grasa contaminada, esta contaminación produce el malfuncionamiento de los mismos, comenzando a rayar la pista interna y a deteriorar los elementos rodantes, el rodamiento comienza a generar más fricción hasta desgastarse, recalentándose y el rodamiento falla. El motor trabaja en sobrecarga y la protección se dispara. El sistema se detiene y no suministra la potencia requerida.
				5	Húmeda en partes internas de motor	Si húmeda entra en el motor y no se trata a tiempo, esta con el tiempo comienza a deteriorar los materiales aislantes en el motor. El motor en algún momento hace corto circuito, ya rea entre el devanado y tierra, o entre fases o espiras por falta de aislante. El motor se detiene, disparándose la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.
				6	Contacto del interruptor de sobrecarga del motor desgastado	Si los contactos del interruptor de sobrecarga de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de sobrecarga falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.
				7	Contacto de interruptor de corto circuito del motor desgastado	Si los contactos del interruptor de corto circuito de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de corto circuito falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.
				8	Rotor bloqueado por el sistema de bombeo	La bomba se analiza en el sistema de suministro de agua


(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	3	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 10 HP a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	9	Rotor bloqueado por objeto extraño	Si un objeto extraño queda atascado en el rotor después de una intervención, este hace que el motor se sobrecargue, el sistema se detiene por acción de la protección de sobrecarga, el sistema no suministra la potencia requerida.
				10	Bornes de conexión sueltos o sucios	Si los bornes de conexión están sueltos o sucios, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.
				11	Bornes de conexión corroídos	Si los bornes de conexión están corroídos, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.
				12	Aislamiento entre fases y devanados desgastado	El aislamiento del motor entre fases o devanados se puede desgastar por el uso del motor, este se va deteriorando hasta perder sus propiedades de alta resistencia. El motor entra en corto circuito y se detiene por acción de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.
				13	Aislamiento estator - tierra desgastado	El aislamiento del motor se puede desgastar por el uso del motor, este se va deteriorando hasta perder sus propiedades de alta resistencia. El motor entra en corto circuito y se detiene por acción de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.


(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	4	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 10 HP a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	14	Ventilación restringida en carcasa por suciedad	Si en los conductos de ventilación de la carcasa se encuentran obstruidos por suciedad depositada en ellos, el motor no se podrá refrigerar adecuadamente, el motor se recalentara y el aislante se deteriorara con el paso del tiempo. En algún momento el motor hace corto circuito y se detiene por el accionamiento de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.
				15	Falla sistema de energía eléctrica	El sistema de energía eléctrica se analiza por separado.
				16	Cables conductores rotos o cobre desgastado en el motor	Si existen cables rotos o fracturados, estos se van a sobrecalentar por una falsa conexión, hasta llegar al punto de carbonizar el conductor y dejar de suministrar energía al sistema. El motor se detiene y deja de suministra la potencia requerida.
				17	Poca ventilación por desgaste o rotura del ventilador	Si el ventilador se desgasta o tiene aspas partidas por fatiga, este no va a generar la suficiente ventilación para que el motor este a la temperatura adecuada, el aislamiento en el estator se deteriora y genera un corto circuito. La protección en el motor se dispara y deja de funcionar. El sistema no suministra la potencia requerida.
				18	Entrehierro no uniforme - rotor excéntrico por deflexión o pandeo del eje	Si el rotor se padea o deflecta, el rotor queda desbalanceado y comienza a sobrecargar los rodamientos. También puede comenzar a rozar con el estator y perforarlo. Los rodamientos de recalientan y el motor se detiene. La protección contra sobrecarga se dispara y el motor se detiene. El sistema no suministra la potencia requerida.


(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	5	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 10 HP a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	19	Suciedad en partes internas del motor	Si suciedad entra a las partes internas del motor, y estas partículas son lo suficientemente abrasivas, estas terminan deteriorando el aislamiento en el motor. El sistema puede entrar en corto circuito y el motor se detiene disparando la protección. El sistema no puede suministrar la potencia requerida.
				20	Desbalanceo por aglomeración de polvo en el ventilador	Si se acumula suficiente suciedad o polvo en el motor, puede llegar a ser una masa que desbalanceo en el rotor. Con el motor desbalanceado, los rodamientos comienzan a sobrecargarse, recalentándose y hasta que fallan. El motor se detiene y el sistema no es capaz de suministrar potencia.
		B	Proporciona una potencia mecánica baja	1	Falta de conexión de una fase - Desbalance en carga eléctrica	Si una fase no se conecta o queda mal la conexión este no va a suministrar la energía necesaria para proporcionar la potencia requerida. El motor puede funcionar a una velocidad más baja de lo usual.
				2	Rotor con grietas o barras sueltas	Si el rotor presenta grietas o rotura de barras, este puede desbalancearse y presentar una leve excentricidad dinámica. Esto hace que el motor pierda potencia y puede que gire a una velocidad menor. El sistema pierde potencia para suministrar.
				3	Soltura mecánica en la base del motor	Si el motor presenta soltura mecánico en la base del motor por los tornillos sueltos, este va a comenzar a vibrar y presentara un funcionamiento anómalo. El motor en algún momento comienza a suministrar menos potencia, perdiendo fuerza.

(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	6	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	Prevenir que entren fluidos y partículas al interior del motor	A	No previene que fluidos y partículas entren en el motor	1	Pernos de la carcasa del motor desajustados	Si los pernos del motor no están bien ajustados, el motor no queda completamente sellado, permitiendo el ingreso de partículas abrasivas como polvo o suciedad, húmeda hasta el punto de deteriorar los rodamientos y el aislamiento del motor, afectando la potencia del mismo.
3	Permitir el accionamiento del motor desde el tablero de control de Bombas	A	No permite el accionamiento del motor desde el tablero de control de bombas	1	Circuito de accionamiento del motor en tablero de bombas a fallado	Si una persona acciona el botón en el tablero de control de bombas y el motor no enciende o continua funcionando, se decide encender o detener el motor desde el tablero de control de cloración.
4	Permitir el accionamiento del motor desde el tablero de control de cloración	A	No permite el accionamiento del motor desde el tablero de control de cloración	1	Circuito de accionamiento del motor en tablero de cloración a fallado	Si una persona acciona el botón en el tablero de control de cloración y el motor no enciende o continua funcionando, se decide encender o detener el motor desde el tablero de control de bombas.
5	Detener el motor en caso de que la corriente sobrepase por sobrecarga los 14 A	A	No detiene el motor en caso de que la corriente sobrepase los 14 A	1	Protección térmica de sobrecarga a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 14 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta el punto en que el aislamiento se carboniza y ocurre una falla de corto circuito. En este momento la corriente aumenta hasta disparar la protección de corto circuito. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
6	Detener el motor en caso de que la corriente de corto circuito sobrepase los 40 A	A	No detiene el motor en caso de que la corriente de corto circuito pase de 40 A	1	Protección de cortocircuito a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 40 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.

(Continuación) Tabla 14. Hoja de Información – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		CLORACION		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	7	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	7	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
7	Lucir aceptable	A	No luce aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura en los tableros de control y en motor se desprende y se ve desagradable antes de que las propiedades de protección a la corrosión se vean afectadas, esto exhibe una imagen desagradable.
				2	Equipos sucios	Un equipo sucio exhibe una imagen inaceptable a los empleados y personal en general. Dificulta realizar de manera correcta la inspección visual sobre los equipos y el mantenimiento de los mismos.


#### **4.2.3. Programa de Mantenimiento: Hoja de Decisión del Sistema de Cloración**

El siguiente paso en el estudio de RCM es analizar las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justificar si merece hacerle una tarea de mantenimiento. Para este proyecto se van a estimar las siguientes consecuencias a modo de propuesta:


- Fallas ocultas o evidentes.
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

Después de la evaluación de las consecuencias en el diagrama de decisión RCM, continua con la decisión de qué tipo de tarea se va a realizar para mitigar dichas consecuencias y así disminuir su impacto. En este punto se debe tener en cuenta cual es la mejor opción para la organización.


Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO											REV.: 0		
		HOJA DE DECISION RCM													
		SISTEMA					Facilitador						Hoja Nº		
		CLORACION					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						1		
		SUBSISTEMA					Auditor						De		
		SUMINISTRO DE CLORO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO						9		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
			N1	N2	N3										
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de compras para garantizar el suministro del cloro en contenedores.		
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional para garantizar el cambio de contenedores vacios por llenos.		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional para garantizar la puesta en servicio del contenedor de cloro mediante la conexión y apertura de la válvula.		
1	A	4	S	N	N	S	N	S					Realizar labores de limpieza a las válvulas del contenedor cada vez que este se va a recargar, verificando que ningún residuo quede bloqueando la válvula.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la apertura de la válvula después de una intervención.		
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la apertura de la válvula después de una intervención.		


(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			SISTEMA CLORACION					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja Nº 2		
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 9		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	7	S	N	N	S	N	S					Realizar labores de limpieza a la conexión flexible del contenedor, verificando que ningún residuo quede bloqueando la esta conexión.	Anual	Técnico Mecánico
1	A	8	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar el filtro tipo rasera.	2 años	Técnico Mecánico
1	A	9	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar el diafragma de la válvula reguladora de vacío.	2 años	Técnico Mecánico
1	A	10	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza general en la válvula reguladora de vacío verificando que no queden partículas que puedan obstruirla.	Anual	Técnico Mecánico
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la apertura de la válvula después de una intervención.		
1	A	12	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza general en la válvula antiretorno verificando que no queden partículas que puedan obstruirla.	Anual	Técnico Mecánico
1	A	13	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar el diafragma de la válvula antiretorno.	2 años	Técnico Mecánico
1	A	14	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza general en la válvula reguladora de vacío diferencial verificando que no queden partículas que puedan obstruirla.	Anual	Técnico Mecánico
1	A	15	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar el diafragma de la válvula reguladora de vacío diferencial.	2 años	Técnico Mecánico


(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			SISTEMA CLORACION					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja Nº 3		
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 9		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	16	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar el diafragma del inyector.	2 años	Técnico Mecánico
1	A	17	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza general en la válvula antiretorno del inyector verificando que no queden partículas que puedan obstruirla.	Anual	Técnico Mecánico
1	A	18											Analizado por separado.		
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza general del inyector verificando que no queden partículas en la garganta del mismo que puedan interferir con su funcionamiento que puedan obstruirla.	Anual	Técnico Mecánico
1	B	2											Analizado por separado.		
2	A	1	S	S			S						Verificar la condición de hermeticidad de la rosca de la válvula del contenedor mediante una prueba inyectando agua a 500 psi. Generar una orden para reemplazar si existe alguna fuga.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
2	A	2	S	S			S						Verificar la condición de hermeticidad de la rosca del fusible del contenedor mediante una prueba inyectando agua a 500 psi. Generar una orden para reemplazar si existe alguna fuga.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
2	A	3	S	S			N	N	N			S	Realizar una inspección al fusible del contenedor, si el material fusible se encuentra extruido hasta 1/32 in, se debe generar una orden de reemplazo.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro


(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO											REV.: 0		
			HOJA DE DECISION RCM													
			SISTEMA						Facilitador						Hoja Nº	
			CLORACION						Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						4	
			SUBSISTEMA						Auditor						De	
			SUMINISTRO DE CLORO						Ing. JOLMAN LOZANO PICO						9	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
							N1	N2	N3							
2	A	4	S	S			N	S					<p>Pintar la superficie exterior del contenedor de cloro con la pintura específica para esta tarea. Realizar una prueba hidrostática en este mismo lapso de tiempo.</p> <p>Limpiar y secar el contenedor antes de recargar. Pesarse y registrar el peso. Generar una orden de prueba hidrostática si este perdió 5% del peso. Desechar el contenedor si perdió el 10% del peso.</p>	5 años	Contratista - Proveedor de Cloro	
2	A	5	S	S			S						<p>Verificar la condición de hermeticidad de la válvula del contenedor realizando una prueba inyectando agua a 500 psi, con el vástago abierto y tapón cerrado, igualmente con el vástago cerrado y tapón abierto. Generar una orden para reemplazar si existe alguna fuga.</p>	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro	
2	A	6	S	S			N	N	S				<p>Reemplazar el empaque de la tapa del filtro tipo rasera cada vez que se haga una intervención, ya sea para verificar el filtro, o para sustituirlo.</p>	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro	
2	B	1	S	S			S						<p>Reemplazar el empaque de la tapa del filtro tipo rasera cada vez que se haga una intervención, ya sea para verificar el filtro, o para sustituirlo.</p> <p>Inspeccionar las juntas de las tuberías y accesorios para comprobar si hay desgaste, buscando signos de fugas de cloro. Generar una orden de trabajo para reemplazar la junta si se detecta una fuga.</p>	Siempre que se intervenga el filtro	Técnico Mecánico	
2	B	2	S	S			N	S					<p>Inspeccionar las juntas de las tuberías y accesorios para comprobar si hay desgaste, buscando signos de fugas de cloro. Generar una orden de trabajo para reemplazar la junta si se detecta una fuga.</p> <p>Pintar la superficie exterior de las tuberías de cloro con la pintura específica para esta tarea.</p>	Semanal	Operador	
2	B	2	S	S			N	S					<p>Pintar la superficie exterior de las tuberías de cloro con la pintura específica para esta tarea.</p>	3 años	Técnico Mecánico	


(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			SISTEMA CLORACION					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja Nº 5		
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 9		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
3	A	1	S	N	N	S	N	S					Lubricar el mecanismo cremallera - engrane en el sistema de control de dosificación de cloro. Verificar su buen funcionamiento.	Anual	Técnico Mecánico
4	A	1	N				N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la puesta en servicio del contenedor en la posición adecuada.		
4	A	2	N				N	S					Limpiar el alojamiento del filtro tipo rasera para verificar que exista exceso de cloro líquido condensado.	Anual	Técnico Mecánico
5	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la apertura de la válvula después de una intervención.		
5	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operacional que garantice la apertura de la válvula después de una intervención.		
6	A	1	N			N	N	N	N	S			Verificar que el material fusible no se encuentre obstruido por golpes en el u otro material fundido tapándolo. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo en caso de estar obstruido.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
7	A	1	S	N	N	S	N	S					Sustituir la válvula si esta no se abre fácilmente con la llave K200, este funcionamiento se debe verificar antes de recargar el contenedor.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro


(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			SISTEMA CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja Nº 6
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 9
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
7	A	2	S	N	N	S	N	S					Sustituir la válvula si esta no se abre fácilmente con la llave K200 por desgaste del cuadrante, este funcionamiento se debe verificar antes de recargar el contenedor.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
7	A	3	S	N	N	S	N	S					Verificar que la válvula se abra fácilmente con la llave K200, verificar ajustes de los empaques, este funcionamiento se debe verificar antes de recargar el contenedor.	Cada recarga de contenedor	Contratista - Proveedor de Cloro
8	A	1	N				N	N	N	S			Verificar si el elemento del filtro se encuentra en su posición, colocar uno nuevo en caso de que no se encuentre. Verificar que no esté saturado	6 meses	Técnico Mecánico
8	A	2	N				N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento que garantice la buena colocación del filtro de cloro sin que resulte averiado.		
9	A	1	S	N	N	S	S						Verificar que la escala del rotámetro sea legible, generar una orden de cambio de rotámetro o de reimpresión de la escala en caso de no ser legible.	2 años	Técnico Mecánico
10	A	1	N				N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento que garantice que no quede algún objeto en la válvula de alivio que pueda obstruirla.		

(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			SISTEMA CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja N° 7
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 9
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
10	A	2	N				N	S					Realizar labores de limpieza en la válvula de alivio de presión, verificando que ningún residuo quede bloqueando la válvula		Técnico Mecánico
10	B	1	N				N	S					Ajustar el taraje de la válvula de alivio de presión, realizar una verificación del taraje de válvula	2 años	Técnico Mecánico
10	B	2	N				N	N	N	S			Verificar que el resorte de la válvula de alivio se encuentre en posición, colocar uno nuevo con su respectivo taraje si no se encuentra	6 meses	Técnico Mecánico
11	A	1	N				N	N	N	S			Calibrar el vacuometro del inyector, hacer una evaluación del vacuometro a 5 psi si la lectura tiene una desviación mayor del 20% reemplazar el vacuometro	2 años	Técnico Mecánico
11	B	1	S	N	N	N	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Realizar un recorrido de inspección en el lugar para garantizar que no existan objetos extraños en el área que puedan dañar componentes.		
11	C	1	N				N	N	N	S			Calibrar el vacuometro del rotámetro, hacer una evaluación del vacuometro a 5 psi, si la lectura tiene una desviación mayor del 20% reemplazar el vacuometro	2 años	Técnico Mecánico

(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			SISTEMA CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja Nº 8
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 9
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
11	D	1	S	N	N	N	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un recorrido de inspección en el lugar para garantizar que no existan objetos extraños en el área que puedan dañar componentes.		
12	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operativo que garantice desairar el sistema antes de colocarlo en servicio.		
12	A	2	N				N	N	N	S			Calibrar la balanza, hacer una evaluación de la balanza, si la lectura tiene una desviación mayor del 5% reemplazar la balanza.	2 años	Técnico Mecánico
12	A	3	N				N	N	N	S			Realizar un recorrido de inspección por la sala de cloración para verificar la presencia de objetos extraños o en mala posición que puedan interferir con el sistema.	Semanal	Operador
12	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Realizar el cambio del diafragma del sistema hidráulico en la balanza.	2 años	Técnico Mecánico
12	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un recorrido de inspección en el lugar para garantizar que no existan objetos extraños en el área que puedan dañar componentes.		

(Continuación) Tabla 15. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Cloro



F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			SISTEMA CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja Nº 9
			SUBSISTEMA SUMINISTRO DE CLORO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 9
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
13	A	1	S	N	N	S	N	S					Verificar el estado de los apoyos y de la pintura de recubrimiento de los mismos, generar una orden de trabajo en caso de que se necesiten soldar y pintar.	4 años	Técnico Mecánico
14	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir las ruedas por unas nuevas.	4 años	Técnico Mecánico
14	A	2	S	N	N	S	N	S					Lubricar las ruedas de la balanza.	Anual	Técnico Mecánico
15	A	1	S	S			S						Inspeccionar visualmente la condición de la pintura de las señales de precaución para asegurar que sean claramente legibles. De lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazar o repintar el aviso.	3 meses	Operador
15	A	2	N				N	N	N	S			Verificar visualmente la existencia del aviso de precaución para asegurar que este en posición y que no se encuentre cubierto o tapado. De lo contrario generar una orden de trabajo para instalar dicho aviso o descubrir de inmediato.	2 años	Operador
15	A	3	S	S			N	S					Limpiar el aviso de precaución con agua y usando telas no abrasivas.	6 meses	Oficios Varios
16	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia de la pintura luego de lavado y avisar si se ve desgastada.	Anual	Técnico Mecánico
16	A	2	S	N	N	S	S						Verificar la suciedad general de los equipos y preparar para lavar si es necesario.	3 meses	Técnico Mecánico


Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO										REV.: 0		
			Sistema							Facilitador			Hoja N°		
			CLORACION							Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ			1		
			Subsistema							Auditor			De		
			SUMINISTRO DE AGUA							Ing. JOLMAN LOZANO PICO			5		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	H6			
							O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro de la bomba después de una intervención.		
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento operativo estándar para asegurar que la válvula de succión quede abierta luego de una intervención.		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento operativo estándar para asegurar que la válvula de descarga quede abierta luego de una intervención.		
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro de la válvula antiretorno después de una intervención.		
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento operacional estándar para garantizar que la bomba quede desairada después de una intervención.		
1	A	6											Se analiza por separado.		


(Continuación) Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0			
			Sistema					Facilitador					Hoja Nº			
			CLORACION					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					2			
			Subsistema					Auditor					De			
			SUMINISTRO DE AGUA					Ing. JOLMAN LOZANO PICO					5			
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
							N1	N2	N3							
1	B	1	S	N	N	S	S							Aforar el flujo de agua que se bombea hacia el inyector, informar si su resultado es menor a 3 l/s. generar una orden de trabajo para identificar el impulsor desgastado y reemplazarlo.	Anual	Técnico Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S							Registrar la presión a la entrada del inyector observando el manómetro a la entrada del mismo y generar una orden de trabajo para cambiar el filtro si la presión es menor a 70 psi.	Anual	Técnico Mecánico
1	B	3	S	N	N	S	S							Verificar el desgaste de las cuñas de sujeción de los impulsores al eje desmontando la bomba y verificando su ajuste. Si se observa huelgo o desajuste de los impulsores, reemplazar las cuñas por nuevas ya que están desgastadas.	5 años	Técnico Mecánico
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar que la tuerca que asegura los impulsores en la bomba quede con el torque adecuado después de una intervención.		
1	B	5	S	N	N	S	S							Verificar es estado de la carcasa de la bomba realizando un análisis ultrasónico. Si se detecta alguna rotura o degradación por fatiga, desgaste o cavitación, generar una orden de trabajo para repararla.	3 años	Técnico Especializado

(Continuación) Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0		
			Sistema					Facilitador						Hoja Nº		
			CLORACION					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						3		
			Subsistema					Auditor						De		
			SUMINISTRO DE AGUA					Ing. JOLMAN LOZANO PICO						5		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
							N1	N2	N3							
2	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar las juntas de las tuberías para comprobar si hay desgastes, buscando signos de fugas de agua, o húmeda en el piso. Generar una orden de trabajo para reemplazar las juntas si se detecta una fuga.	Mensual	Técnico Mecánico
2	A	2	S	N	N	S	S							Inspección del sello de la bomba buscando signo de fuga de agua, de encontrarse una fuga generar una orden de trabajo para revisarlo y reemplazarlo.	Semanal	Operador
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de operativo estándar para asegurara que no se opere la bomba con menos de 1 metro de nivel de agua en el tanque de almacenamiento.		
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Hacer un procedimiento de mantenimiento definiendo como instalar un sello mecánico en la bomba.		
2	A	5	S	N	N	S	S							Inspección de la carcasa de la bomba, buscando detectar fugas en las empaquetaduras y o `ring entre etapas. Generar una orden de trabajo para reemplazarlos si se detecta una fuga.	Semanal	Operador
2	A	6	S	N	N	S	S							Inspección de la carcasa del filtro, buscando detectar fugas en las empaquetadura. Generar una orden de trabajo para reemplazarlos si se detecta una fuga.	Semanal	Operador

(Continuación) Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema						Facilitador						Hoja Nº
			CLORACION						Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						4
			Subsistema						Auditor						De
			SUMINISTRO DE AGUA						Ing. JOLMAN LOZANO PICO						5
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
							N1	N2	N3						
3	A	1	N				N	N	N	S			Verificar si el elemento del filtro se encuentra en su posición, colocar uno nuevo en caso de que no se encuentre. Verificar que no esté saturado.	6 meses	Técnico Mecánico
3	A	2	N				N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar que no se rompa el filtro durante la instalación.		
4	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la válvula, en el asiento y cuerpo, mediante un análisis ultrasónico. Si se detecta alguna anomalía por desgaste o reflujo hacia la bomba cuando la bomba esta fuera de servicio, generar una orden de trabajo para reemplazarla.	3 años	Técnico Especializado
5	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la válvula, en el asiento y cuerpo, mediante un análisis ultrasónico. Si se detecta alguna anomalía por desgaste o mal sello cuando esta se encuentra cerrada, generar una orden de trabajo para reemplazarla.	3 años	Técnico Especializado
5	A	2	S	N	N	S	N	S					Lubricar el bastado de la válvula de compuerta de succión y verificar que la válvula se pueda operar fácilmente al cerrarla o abrirla	6 meses	Técnico Mecánico

(Continuación) Tabla 16. Hoja de Decisión – Cloración – Suministro de Agua




F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema CLORACION					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja N° 5	
			Subsistema SUMINISTRO DE AGUA					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 5	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
5	A	3	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la válvula, en el asiento y cuerpo, mediante un análisis ultrasónico. Si se detecta alguna anomalía por desgaste o mal sello cuando esta se encuentra cerrada, generar una orden de trabajo para reemplazarla.	3 años	Técnico Especializado
5	A	4	S	N	N	S	N	S					Lubricar el bastido de la válvula de compuerta de succión y verificar que la válvula se pueda operar fácilmente al cerrarla o abrirla.	6 meses	Técnico Mecánico
6	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia de la pintura luego del lavado y avisar si se ve desgastada.	Anual	Técnico Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S						Verificar la suciedad general de sistema, y preparar para lavar si es necesario.	3 meses	Técnico Mecánico


Tabla 17. Hoja de Decisión – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0		
			Sistema					Facilitador						Hoja Nº		
			CLORACION					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						1		
			Subsistema					Auditor						De		
			ELECTRICO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO						5		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
			N1	N2	N3											
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar los rodamientos del eje del motor para comprobar su desgaste, realizando un análisis de vibraciones. Generar una orden de trabajo para reemplazar el rodamiento si se detecta una vibración fuera de lo normal.	Anual	Técnico Especializado
1	A	2	S	N	N	S	N	S						Engrasar los rodamientos del eje del motor con 10 aplicaciones de grasa.	6 meses	Técnico Electricista
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento de suministro de grasa al rodamiento del motor, evaluar el aprendizaje del procedimiento.		
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento de suministro de grasa al rodamiento del motor, evaluar el aprendizaje del procedimiento.		
1	A	5	S	N	N	S	N	S						Realizar un secado con aire comprimido de las partes internas del motor, buscando eliminar humada en el estator o rotor que pueda deteriorar el aislamiento eléctrico.	Anual	Técnico Electricista


(Continuación) Tabla 17. Hoja de Decisión - Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja Nº 2
			Subsistema ELECTRICO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 5
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	6	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de sobrecarga realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayos a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de sobrecarga.	5 años	Técnico Electricista
1	A	7	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de corto circuito realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayos a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de corto circuito.	5 años	Técnico Electricista
1	A	8											Se analiza por separado.		
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro del motor después de una intervención.		
1	A	10	S	N	N	S	S						Verificar la relación corriente/resistencia de los bornes de conexión mediante un análisis de Termografía infrarroja. Generar una orden de trabajo si se observa alguna anomalía por temperatura.	6 meses	Técnico Especializado
1	A	11	S	N	N	S	S						Verificar la relación corriente/resistencia de los bornes de conexión mediante un análisis de Termografía infrarroja. Generar una orden de trabajo si se observa alguna anomalía por temperatura.	6 meses	Técnico Especializado


(Continuación) Tabla 17. Hoja de Decisión – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO											REV.: 0	
			HOJA DE DECISION RCM												
			Sistema						Facilitador					Hoja N°	
			CLORACION						Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					3	
			Subsistema						Auditor					De	
			ELECTRICO						Ing. JOLMAN LOZANO PICO					5	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
			N1	N2	N3										
1	A	12	S	N	N	S	S						Verificar la resistencia de aislamiento de los devanados, mediante una prueba de resistencia de devanados, si el error es mayor al 3% del valor normal, generar una orden de trabajo para repararlo.	3 años	Técnico Especializado
1	A	13	S	N	N	S	S						Verificar la resistencia de aislamiento del estator con respecto a tierra realizando una prueba de Meggers, en el motor. Si la resistencia de aislamiento tiene un error de 3%, generar una orden de trabajo para repararlo.	3 años	Técnico Especializado
1	A	14	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la carcasa del motor, buscando suciedad presente en los canales de ventilación de la carcasa. Si se detecta, generar una orden de trabajo para su respectiva limpieza.	Semanal	Operador
1	A	15											Se analiza por separado		
1	A	16	S	N	N	S	S						Verificar el estado de los devanados del motor realizando un análisis del circuito del motor, buscando perdidas de cobre o cables rotos por deterioro. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	2 años	Técnico Especializado
1	A	17	S	N	N	S	S						Verificar el estado del ventilador de motor, comprobando su funcionamiento y observando que no esté deteriorado o partido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo si es anormal su funcionamiento.	Anual	Técnico Electricista

(Continuación) Tabla 17. Hoja de Decisión – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema CLORACION						Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja Nº 4
			Subsistema ELECTRICO						Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 5
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	18	S	N	N	S	S						Verificar el estado del rotor mediante un análisis de las curvas de potencia características del motor. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	Anual	Técnico Especializado
1	A	19	S	N	N	S	N	S					Realizar una limpieza de las partes internas de motor, buscando eliminar partículas de polvo que puedan deteriorar el aislamiento eléctrico del motor.	Anual	Técnico Electricista
1	A	20	S	N	N	S	N	S					Realizar una limpieza en el ventilador, despejando las aspas y dejándolo libre de cualquier masa que pueda generar desbalanceo.	6 meses	Técnico Electricista
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar la correcta conexión del motor después de una intervención.		
1	B	2	S	N	N	S	S						Verificar el estado del rotor mediante un análisis de las curvas de potencia características del motor. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	Anual	Técnico Especializado
1	B	3	S	N	N	S	S						Verificar el ajuste de los tornillos de la base del motor, si se encuentra algún tipo de desajuste, aplicar el respectivo torque.	Mensual	Operador

(Continuación) Tabla 17. Hoja de Decisión – Cloración - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO											REV.: 0		
			HOJA DE DECISION RCM													
			Sistema						Facilitador						Hoja N°	
			CLORACION						Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						5	
			Subsistema						Auditor						De	
			ELECTRICO						Ing. JOLMAN LOZANO PICO						5	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	H6				
							O1	O2	O3							
2	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el ajuste de los tornillos de la carcasa del motor, si se encuentra algún tipo de desajuste, aplicar el respectivo torque.	Mensual	Operador	
3	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el funcionamiento del circuito del tablero de control de bombas. Si se observa alguna anomalía, verificar que componente del circuito fallo y reparar o reemplazarlo de inmediato.	6 meses	Técnico Electricista	
4	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el funcionamiento del circuito del tablero de control de cloración. Si se observa alguna anomalía, verificar que componente del circuito fallo y reparar o reemplazarlo de inmediato.	6 meses	Técnico Electricista	
5	A	1	N				N	N	N	S			Probar el funcionamiento de la protección térmica de sobre corriente. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista	
6	A	1	N				N	N	N	S			Probar el funcionamiento de la protección de corto circuito. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista	
7	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia de la pintura luego de la limpieza y avisar si se ve desgastado.	Anual	Técnico Electricista	
7	A	2	S	N	N	S	S						Verificar la suciedad general del sistema y preparar para limpieza si es necesario.	3 meses	Técnico Electricista	

### 4.3. APLICACIÓN DEL ANALISIS RCM AL SISTEMA DE LA UNIDAD DE BOMBEO N° 1

Al igual que en sistema de cloración, para la aplicación del análisis RCM al sistema del sistema de la unidad de bombeo N° 1, se recurrió a conformar un equipo de revisión del proceso el cual se encargo de suministrar la información necesaria durante el análisis. Este grupo fue conformado por el personal de operación de la estación de bombeo Bosconia, personal de mantenimiento y el facilitador del análisis RCM.

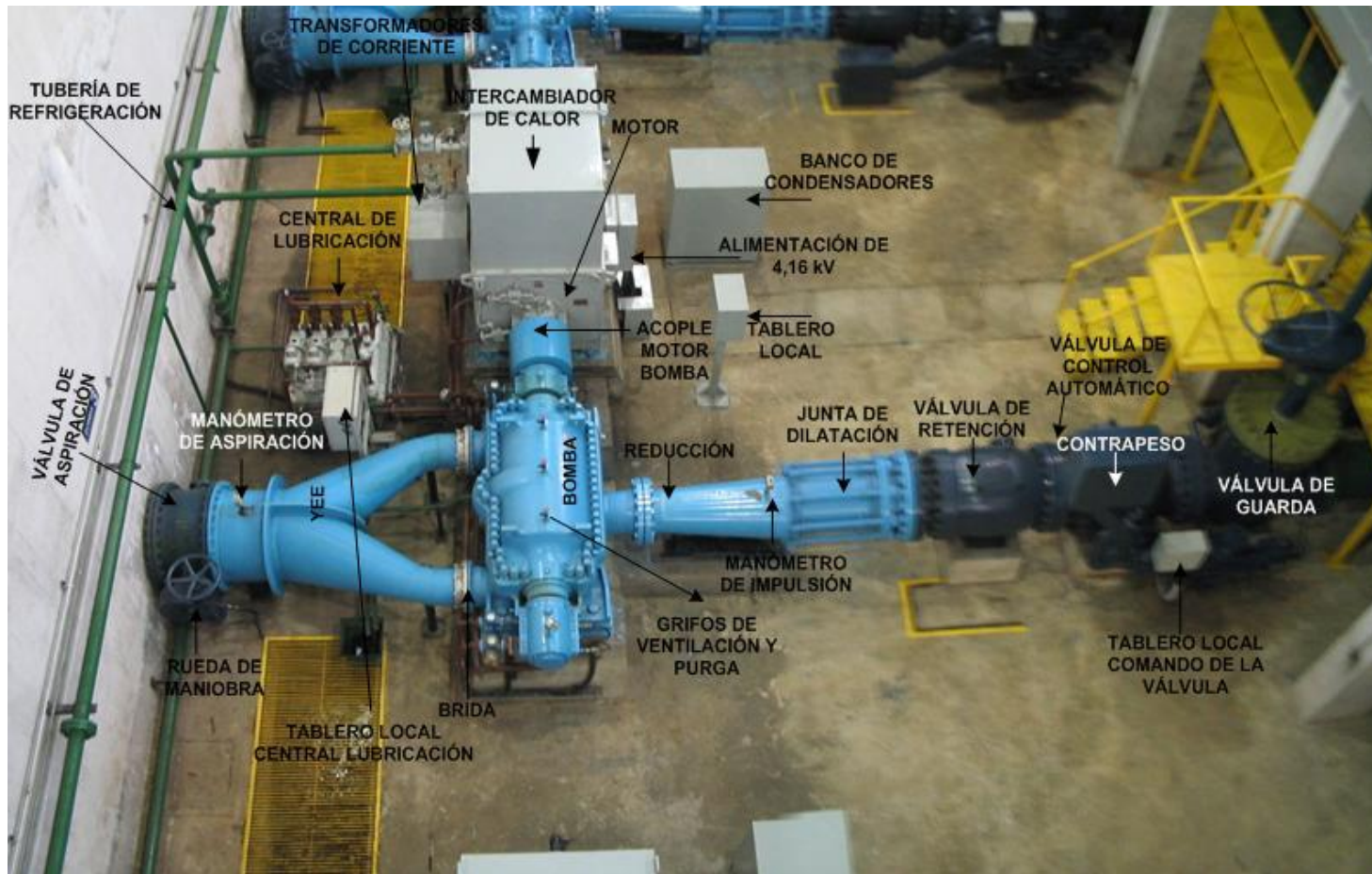
Tabla 18. Grupo de Revisión RCM del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1

<b>Facilitador</b>	<b>Ricardo Pulido Ramírez</b>
<b>Supervisor de Ingeniería</b>	Ing. Jolman Lozano Pico
<b>Técnico Mantenimiento</b>	Luis Orlando Salcedo (Mecánico)
	José Oscar Serrano (Electricista)
<b>Supervisor de Operación</b>	Jairo Fabián Jaimes
<b>Operador</b>	Hugo Dallos

#### 4.3.1. Contexto operacional del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1

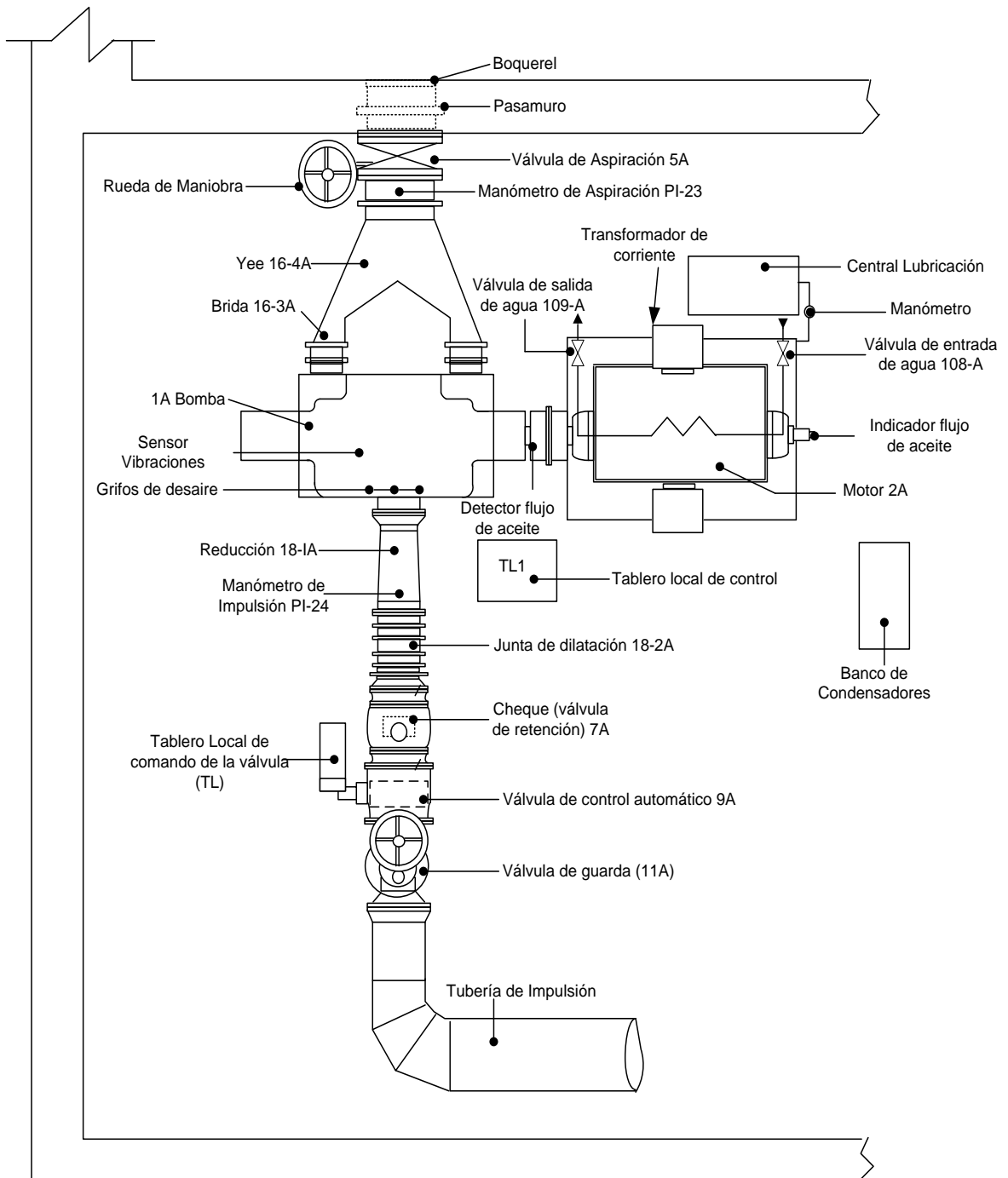
La Unidad de Bombeo N° 1 es una de las cuatro unidades encargadas de bombear el agua tratada en la planta Bosconia, hacia los tanques de distribución de Morrórico y Estadio, que se encuentran a una distancia aproximada de 380 m y 350 m respectivamente. La unidad bombeo tiene una capacidad de 667 L/s con una altura dinámica total de 394 m respecto al tanque de Morrórico. El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de almacenamiento 10000 m<sup>3</sup> de agua. En la figuras 82 y 83 se puede observar la vista general y un esquema de la unidad de bombeo.

Figura 82. Vista general de la Unidad de Bombeo



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia

Figura 83. Esquema General de la Unidad de Bombeo



Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia

La operación de las unidades de bombeo depende los niveles del los tanque de almacenamiento de agua de Bosconia, Estadio y Morrórico, así como de el nivel de los tanque hidroneumáticos.

Tabla 19. Niveles de los Tanques de Almacenamiento e Hidroneumáticos

<b>TANQUE BOSCONIA</b>		
<b>CODIGO</b>	<b>NIVEL</b>	<b>ALTURA m</b>
<b>LSHH 107</b>	NIVEL MUY ALTO DE RESERVA	4.00
<b>LSH 108</b>	NIVEL ALTO	3.50
<b>LSL 109</b>	NIVEL BAJO	1.00
<b>LSLL 110</b>	NIVEL MUY BAJO DE RESERVA (ALARMA)	0.75
<b>LSLLL 111</b>	NIVEL DE RESERVA (PARADA EMERGENCIA)	0.50
<b>LT 106</b>	SONDA DE NIVEL	0.00
<b>TANQUE ESTADIO</b>		
<b>CODIGO</b>	<b>NIVEL</b>	<b>ALTURA m</b>
<b>LSHHH 113</b>	NIVEL MUY MUY ALTO	4.40
<b>LSHH 114</b>	NIVEL MUY ALTO	4.20
<b>LSH 115 B1</b>	NIVEL ALTO	4.10
<b>LSL 116 B</b>	NIVEL BAJO	2.50
<b>LSLL 117</b>	NIVEL MUY BAJO	2.00
<b>LSH 112 B</b>	CIERRA VÁLVULA 14	4.10
<b>LSL 112 B</b>	ABRE VÁLVULA 14	2.70
<b>LT 112</b>	SONDA	0.00
<b>TANQUE MORRORICO</b>		
<b>CODIGO</b>	<b>NIVEL</b>	<b>ALTURA m</b>
<b>LSHHH 119</b>	NIVEL MUY MUY ELEVADO	2.80
<b>LSHH 120</b>	NIVEL MUY ELEVADO	2.60
<b>LSH 121 MR1</b>	NIVEL ELEVADO	2.30
<b>LSL 122 MR1</b>	NIVEL BAJO	1.30
<b>LSLL 123</b>	NIVEL MUY BAJO	0.80
<b>LT 118</b>	SONDA	0.00
<b>TANQUES HIDRONEUMATICOS</b>		
<b>CODIGO</b>	<b>NIVEL</b>	<b>ALTURA m</b>
<b>LSHHH 105</b>	NIVEL MUY MUY ALTO	3.75
<b>LSHH 105</b>	NIVEL MUY ALTO	3.44
<b>LSH 105</b>	NIVEL ALTO	3.15
<b>LSL 105</b>	NIVEL BAJO	2.75
<b>LSLL 105</b>	NIVEL MUY BAJO	1.80
<b>LSLLL 105</b>	NIVEL MUY MUY BAJO	1.55

El encendido de la unidad es manual, continuando una operación automática para el resto del proceso. Para el proceso de encendido primero se hace una revisión del estado de los siguientes componentes y seguir el procedimiento:

- Revisar que la presión del colector de descarga sea mayor o igual a 31 kg/cm<sup>2</sup>. Esto se monitorea en el manómetro ubicado en la tubería de impulsión.
- Niveles de agua en los tanques hidroneumáticos, comprendidos entre LSL 105 y LSH 105. Este nivel se monitorea en los indicadores luminosos del tablero local de los compresores.
- Presión del aceite de lubricación, en 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa en el manómetro colocado en la tubería de alimentación de aceite de la bomba y motor.
- Válvulas del sistema hidroneumático abiertas.
- Válvulas manuales de aspiración y de impulsión abiertas.
- Válvulas automáticas en la descarga cerradas.
- Temperaturas de cojinetes y soportes de la bomba y motor por debajo de 90°C (entre 50°C y 70°C). Se observan los termómetros de los tableros control.
- Temperaturas de las fases de los estatores motores por debajo de 125° C. Se observan en los termómetros de los tableros de control.
- Salida de aceite del soporte y del cojinete de la bomba por debajo de 65° C. Se observan en los termómetros situados en la tubería de salida de aceite de la bomba.
- Aire de enfriamiento del motor menor de 45° C. Se observa en los termómetros situados en los tableros de control.
- Carcasa de la bomba, por debajo de 32° C. Se observa en los termómetros de los tableros de control.
- Salida de aceite de los cojinetes del motor, por debajo de 80° C. Se observa en los termómetros situados en la tubería de salida de aceite del motor.

- Salida de agua de enfriamiento del motor, por debajo de 35° C. Se observa en los termómetros de los tableros de control.
- Llegada de aceite a la bomba mínimo 5.5. L/min para el cojinete, 7.2 L/min para el soporte. Se observa en los detectores indicadores de flujo situados en la tubería de alimentación de aceite de la bomba.
- Llegada de aceite al motor mínimo 5 l/min por el cojinete. Se observa en los detectores indicadores de flujo situados en la tubería de alimentación de aceite a la bomba.
- Caudal de agua de enfriamiento mínimo 250 l/min. Se observa en el detector indicador de flujo de agua colocado sobre la tubería de impulsión.
- Comprobar que todas las partes del sistema de bombeo (tanques, bombas, compresores) se encuentran en buen estado de funcionamiento.
- Verificar el adecuado suministro de energía eléctrica en el tablero de la subestación eléctrica (4160 V).
- En el tablero local de la válvula de control el selector se encuentre en la posición de distancia.
- Se encuentre abierta llave de entrada y salida de agua del intercambiador de calor en la central de lubricación.
- Se encuentra abierta llave de entrada y salida de agua del intercambiador de calor del motor.
- Revisar tablero de refrigeración y Arrancar una bomba de refrigeración.
- Revisar que la presión de agua de refrigeración sea aproximadamente igual a 3 kg/cm<sup>2</sup>.
- Revisar tablero de compresores y Arrancar compresores dependiendo del nivel en manual (o colocarlo en automático).
- Revisar tablero de central de lubricación y Arrancar una bomba de lubricación.

- Revisar la presión de aceite a la salida de las bombas de aceite aproximadamente entre 4 y 4.5 kg/cm<sup>2</sup>. A la entrada a la bomba principal y motor aproximadamente 2.5 kg/cm<sup>2</sup>.
- Revisar el estado del filtro si la presión de aceite a la entrada de la bomba principal es menor de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>.
- Observar la posición de la aguja en los cinco (5) medidores de caudal de aceite de la bomba y motor.
- Abrir válvulas de desaireación de la bomba principal.
- Abrir válvula de desaireación de la válvula de control.
- Revisar goteo del prensaestopas.
- Abrir llave de mangueras de agua adicional (unidad de llenado).
- Revisar que la válvula de control esté completamente cerrada.
- Revisar nivel alto de agua en el tanque de succión (3.70 m)

#### Procedimiento de Arranque y operación:

- Poner el selector general en manual.
- Pulsar botón de restauero.
- Accionar botón de bloqueo mecánico general.
- Accionar botón de bloqueo eléctrico general.
- Accionar restauero en los tableros de control.
- Controlar alarmas.
- Pulsar botón de arranque (local o de tablero de 2o. Piso)
- Revisar el cierre de los interruptores A y C, transcurridos de 6 a 12 segundos (máximo) debe entrar el interruptor B.
- Si pasados 10 segundos y no entra el interruptor B se debe accionar la parada de emergencia.
- Después del arranque controlar apertura de la válvula de control (60 s).

- Después del arranque controlar la temperatura en el prensaestopas cada hora.
- Se vigila continuamente el estado del tanque de almacenamiento de agua de Bosconia, a fin de constatar la permanencia del nivel del agua entre los límites fijados (LSH 108 = 3.50 m, nivel superior recomendado y LSL 109 = 0.50 m, nivel mínimo para bombeo con una sola unidad). El funcionamiento del tanque de agua tratada se suspende para efectuar su lavado.
- Con el bombeo en marcha se llena el tanque de Estadio. Cuando el tanque de Estadio llega al nivel LSH 115 B1 (4.10 m de altura), una la válvula motorizada de entrada al tanque de Estadio se cierra y el agua pasa al tanque de Morrórico.
- Si la demanda de la ciudad, estando el bombeo parado, hace bajar el nivel de agua en el tanque de Estadio hasta LS L112 B (2.70 m de agua), la válvula 14 se abre progresivamente dejando pasar agua de Morrórico hacia Estadio por gravedad.
- Cuando el nivel de Morrórico llega al nivel LSL 122 (1.30 m de agua), entra una de las bombas a funcionar, y si simultáneamente el nivel de Estadio desciende a LSL 116 B1 (2.50 m de agua), otra bomba arranca y para cuando el agua de éste tanque llegue al nivel LSH 115 B1. Si el tanque de Morrórico alcanza el nivel LSH 121 MR1 (2.30 m de agua) se apaga la primera bomba.
- Si por algún motivo durante el bombeo el nivel del agua en el tanque de Estadio llega a LSH H 114 (4.20 m de agua) se enciende una alarma por nivel muy alto, y la bomba se apaga de emergencia automáticamente al llegar al nivel LSHHH 113 (4.40 m de agua).
- Si por algún motivo durante el bombeo el nivel del tanque de Morrórico llega a LSHH 120 (2.60 m de agua), se enciende alarma por nivel muy alto y la bomba se apaga automáticamente al llegar al nivel LSHHH 119 (2.80 m de agua)

- También se acciona una alarma si el nivel de agua baja del nivel LSSL 117 (2.0 m de agua) en el tanque de Estadio, o al nivel LSSL 123 (0.80 m de agua) para el tanque de Morrórico.

Procedimiento de Parada:

- Basta accionar el selector de la bomba a la posición de Parada Normal, la válvula de control se cierra y el motor para automáticamente.
- Parar las centrales de aceite y de refrigeración.

El sistema está compuesto por 2 subsistemas, el subsistema hidráulico, y el subsistema de eléctrico. Estos dos sistemas se describirán en detalle en la siguiente sección con sus respectivos subsistemas y componentes. El subsistema eléctrico completo esta subdividido tres secciones: potencia, control y arranque. Las secciones de arranque y control no serán analizadas en este proyecto.

Tabla 20. Partes Analizadas en del sistema de la unidad de Bombeo N° 1

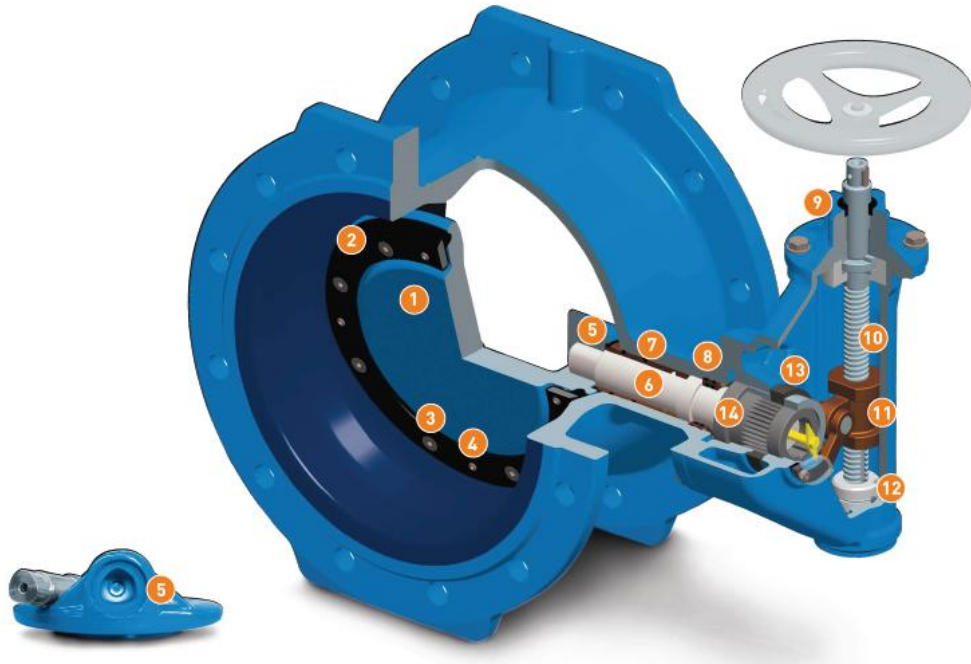
<b>SISTEMA DE UNIDAD DE BOMBEO N° 1</b>	
<b>HIDRAULICO</b>	<b>ELECTRICO</b>
<b><u>COMPONENETES</u></b>	
Válvula de Succión	Motor Eléctrico
Bomba Centrifuga	
Válvula Antiretorno	Protecciones Eléctricas
Válvula de Control	
Válvula de Guarda	

#### 4.3.1.1. Descripción del Subsistema Hidráulico

El sistema está compuesto por una válvula de mariposa (ver figura 84) de operación manual, marca ERHARD de 900 mm de diámetro, ubicada en la tubería de aspiración de la unidad de bombeo. Están provistas de indicadores de posición y finales de carrera, los cuales envían señales eléctricas (análogas) a los tableros de

supervisión y control. El recorrido de la apertura al cierre debe ser de 90° y garantizando que no existan fugas.

Figura 84. Válvula Mariposa de la Unidad de Bombeo



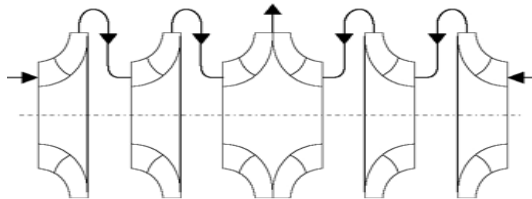
Fuente: ERHARD, Roco Premium Válvula de Mariposa

Tabla 21. Componentes de la Válvula Mariposa de Bombeo

Nº	COMPONENTE
1	DISCO
2	ANILLO-JUNTA
3	TORNILLO DE APRIETE
4	CONTRAESPIGA
5	CONEXIÓN POLÍGONA
6	EJE DE ACCIONAMIENTO
7	CASQUILLO DE COJINETE
8	SISTEMA DE ESTANQUEIDAD DEL EJE
9	COJINETE BRIDA
10	VÁSTAGO ROSCADO
11	TUERCA DEL VÁSTAGO
12	TOPE FINAL
13	MANIVELA DEL MECANISMO
14	EJE DE SALIDA

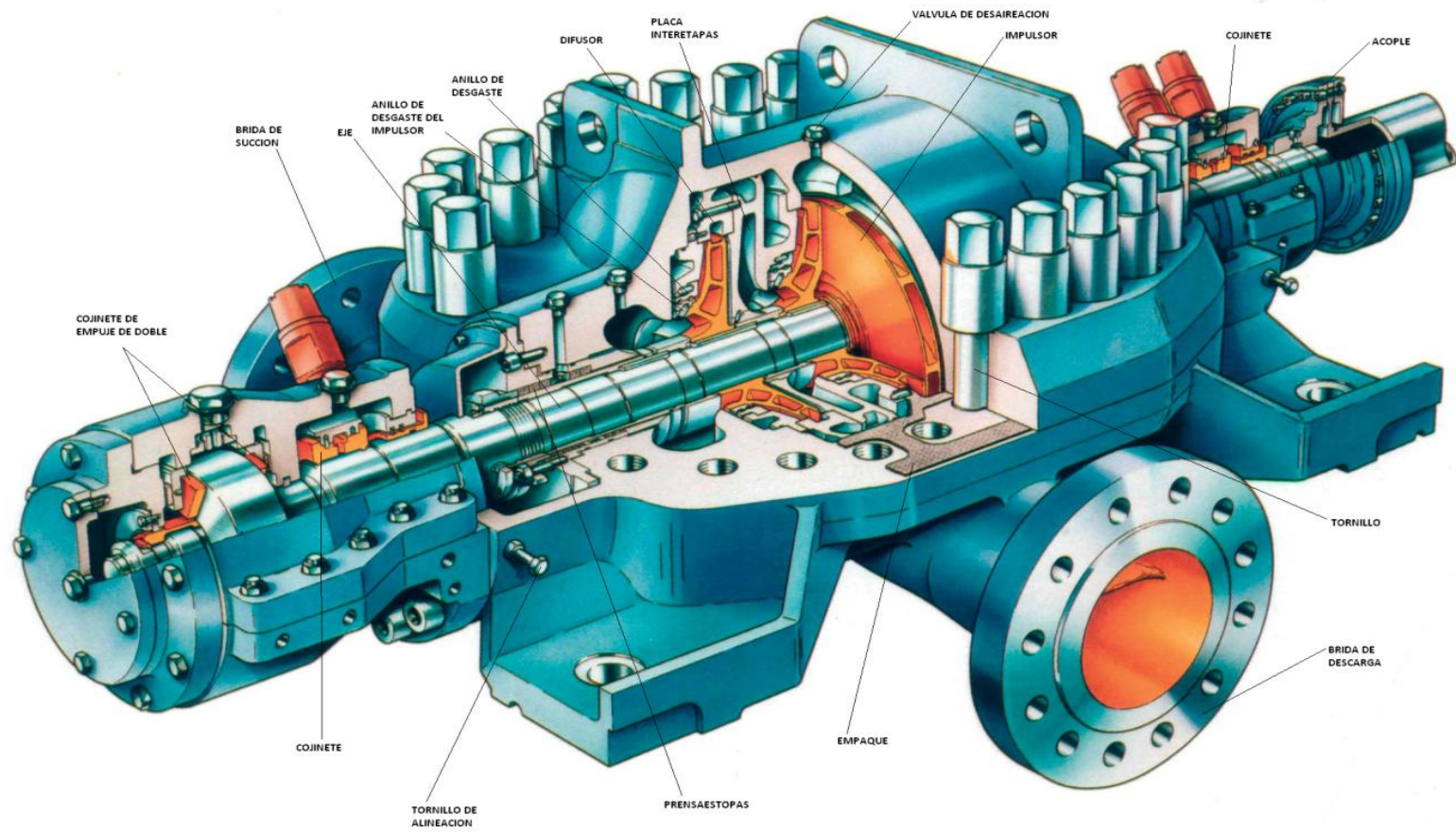
Seguida de la válvula mariposa está la Bomba centrífuga multietapa principal, marca CCM SULZER, con 667 litros por segundo de capacidad y una altura manométrica de 394 metros. La bomba es de eje horizontal, carcasa partida horizontalmente, doble succión, tres (3) etapas modelo HPDM 350-555-3d725 y velocidad de operación nominal de 1788 r.p.m. y 3013 Kw. El diseño HPDM 3d cuenta con dos impulsores de aspiración simple que están instalados en cada lado del rodete de doble aspiración (ver figura 85). En las figuras 86 y 87 se pueden ver los componentes básicos de la bomba.

Figura 85. Configuración de los impulsores en la Bomba Sulzer



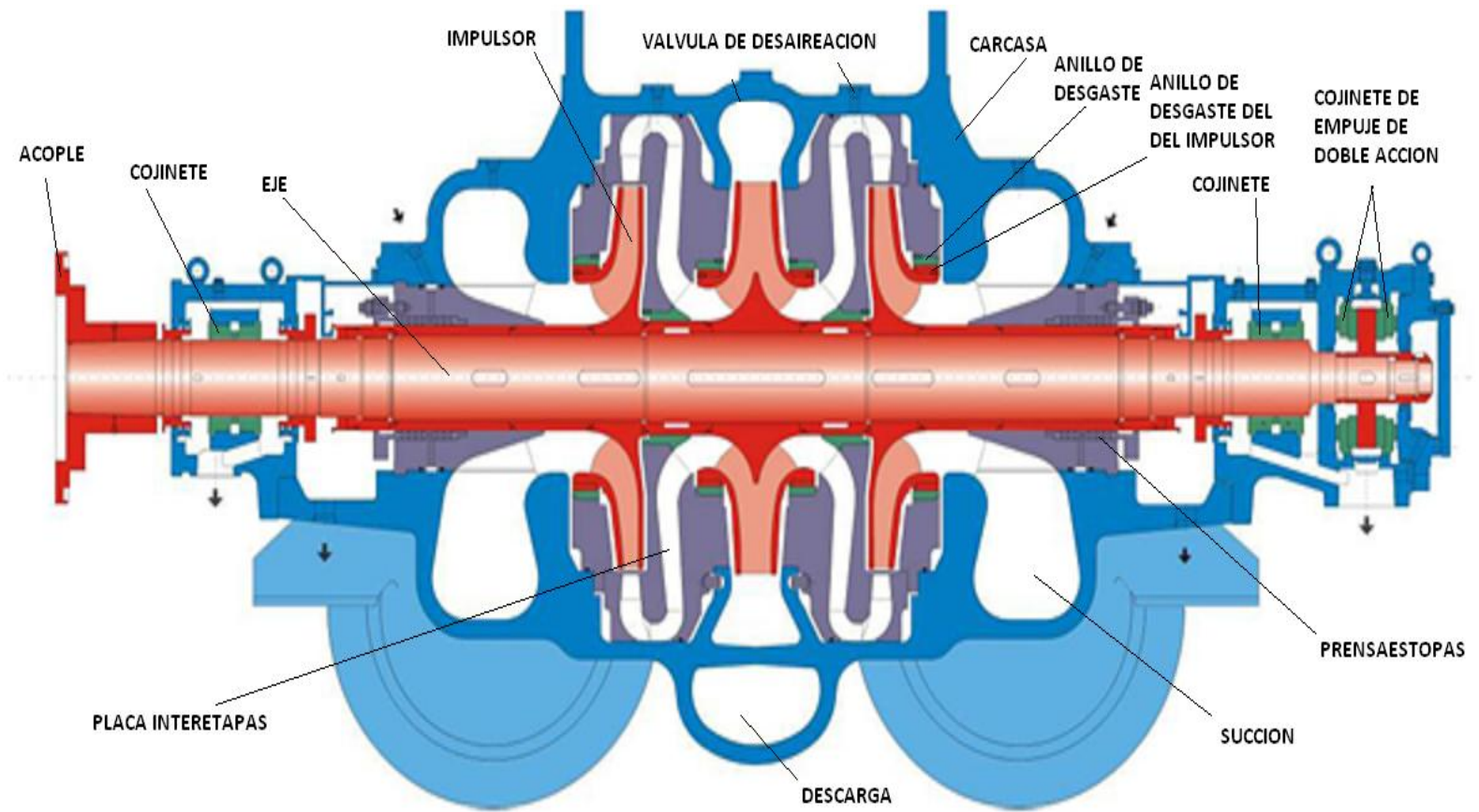
Fuente: SULZER PUMPS LTD, Centrifugal Pump Handbook

Figura 86. Vista General de la Bomba Sulzer



Fuente: SULZER PUMPS LTD, HPDM Volute Casing Pumps Axially Split

Figura 87. Vista Frontal de la Bomba Sulzer

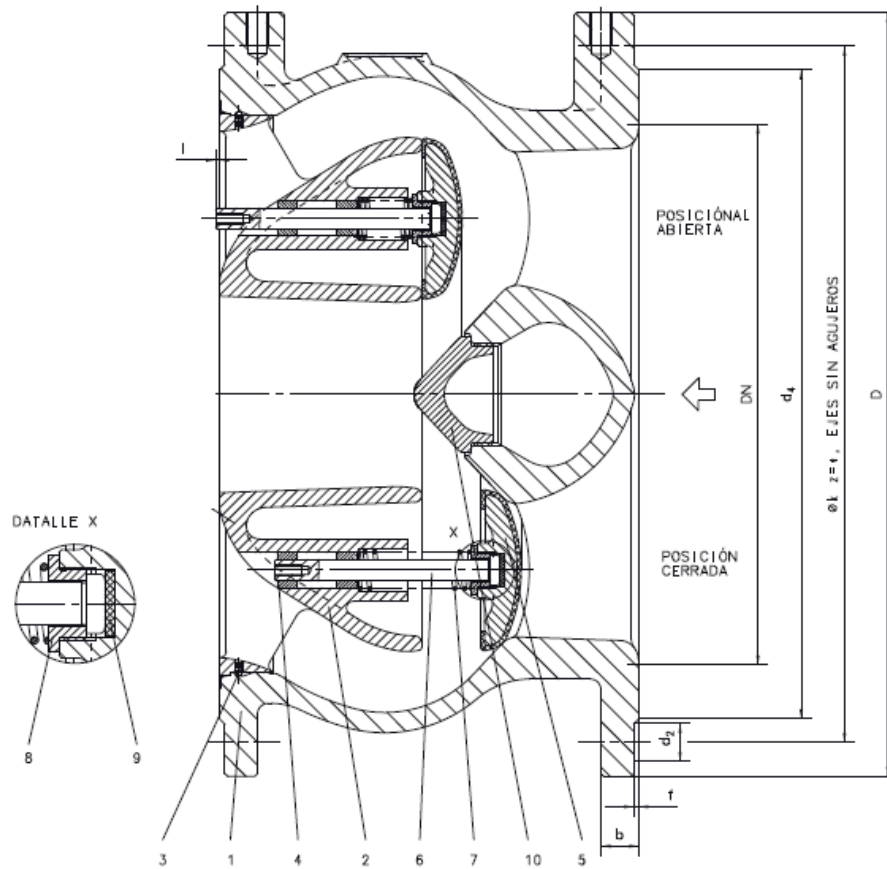


Fuente: SULZER PUMPS LTD, HPDM Volute Casing Pumps Axially Split

La carcasa está dividida horizontalmente y las ramas de succión y descarga están en línea, situadas en el lado opuesto una de otra, fundidas con la mitad inferior. Ambas mitades de la carcasa se atornillan con un empaque que hace sello entre ellas. En la mitad superior de la carcasa están montadas 3 válvulas de desaireación y purga de la bomba. Los impulsores son cerrados; se unen al eje por medio de cuñas y se posiciona sobre el por medio de camisas. La doble succión de la bomba la hace hidráulicamente equilibrada. Ambos, tanto el impulsor como la carcasa tienen anillos de desgaste. El eje se sella por medio de prensaestopas los cuales están cubiertos por una camisa removible y provisto de un drenaje; y se apoya en dos cojinetes de deslizamiento en cada extremo del eje y un cojinete de empuje de doble acción en el lado libre del eje. Los cojinetes son de lubricación forzada. El cojinete de empuje absorbe la presión residual del eje hidráulicamente equilibrado. Los alojamientos y cubiertas de los cojinetes están separados de la carcasa de la bomba para facilitar su montaje y mantenimiento.

Seguidas de la bombas vienen la junta de dilatación y la válvula anular de retención; situada en la tubería de impulsión, de diámetro nominal 600 mm. La válvula de retención de tobera antigolpe ERHARD es una válvula de retención accionada por el medio de flujo, con un obturador que se mueve axialmente en el centro. El obturador tiene la forma de un anillo y se guía en el cuerpo interior mediante un vástago de guía. El movimiento de cierre de la válvula se apoya por 4 vástagos de guía. La válvula de retención de tobera antigolpe ERHARD tiene el cierre elástico que no permite fugas a partir de una contrapresión de 800 mbar. Al iniciarse la operación, la válvula empieza a abrirse y consigue la plena apertura cuando el flujo alcanza una velocidad de 2 m/s.

Figura 88. Válvula de Retención



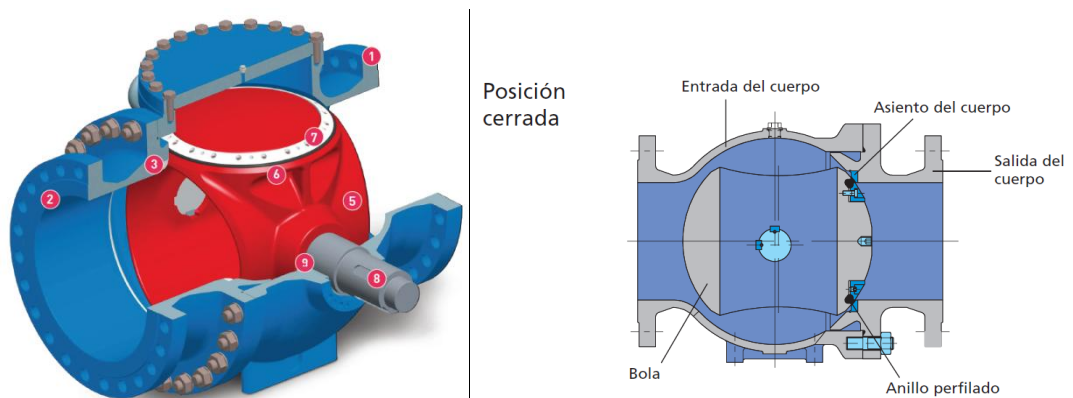
Fuente: < www.erhard.de >

Tabla 22. Componentes de la válvula de Retención

Nº	COMPONENTE
1	CUERPO
2	CUERPO INTERIOR
3	VARILLA ROSCADA
4	CASQUILLO
5	ANILLO
6	VASTAGO GUIA
7	MUELLE
8	CASQUILLO ROSCADO
9	ARANDELA
10	TAPA DE CIERRE

Seguida se encuentra la válvula tipo bola, de operación automática y manual, para el control de cada una de las bombas marca ERHARD, que cuenta con una válvula de desaireación en la parte superior. La válvula cumple la función de arrancar la bomba de manera controlada. El accionamiento puede soportar el arranque suave de la bomba. Golpes de cierre se evitan mediante la operación de cierre en 2 fases.

Figura 89. Válvula de Bola de la Unidad de Bombeo



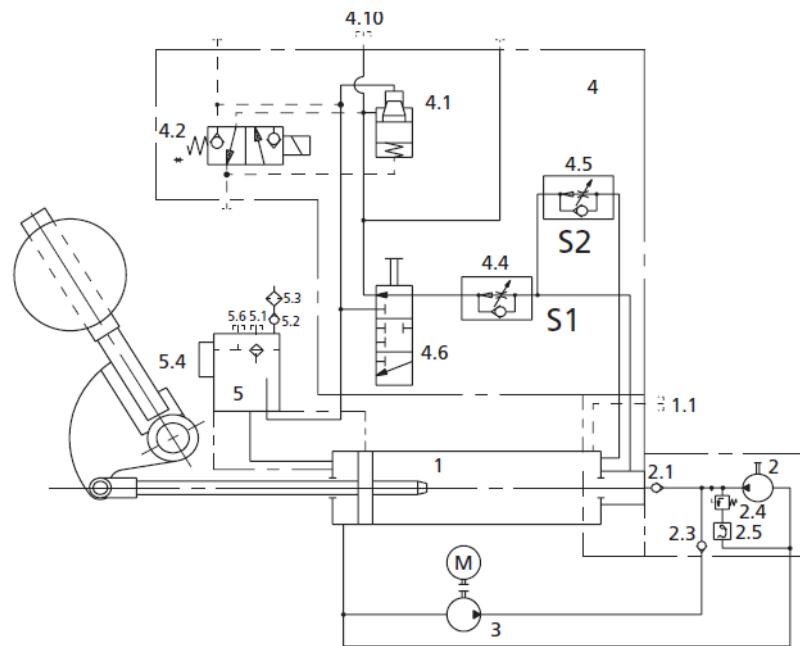
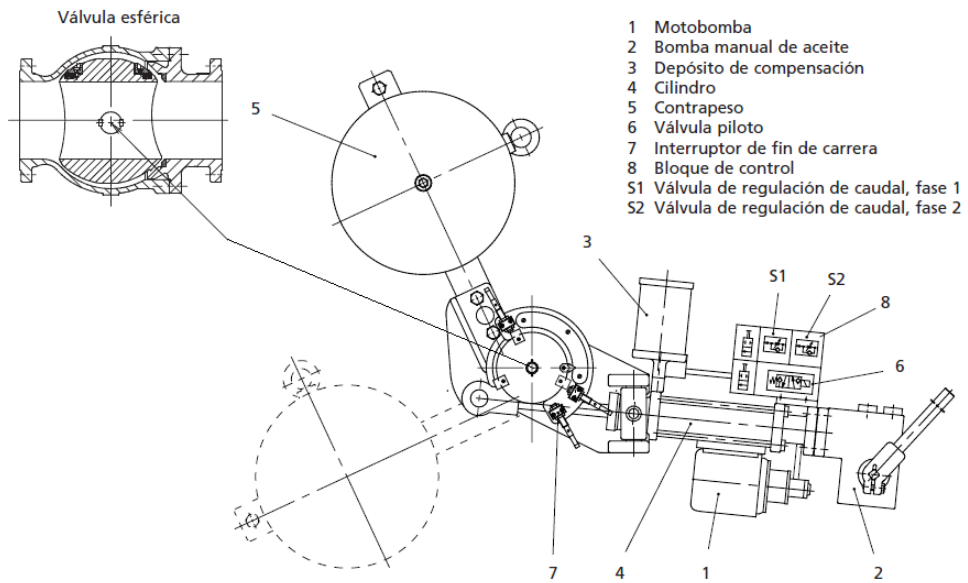
Fuente: < [www.erhard.de](http://www.erhard.de) >

Tabla 23. Componentes de la Válvula de Bola

Nº	COMPONENTE
1	ENTRADA DEL CUERPO
2	SALIDA DEL CUERPO
3	ASIENTO DEL CUERPO
4	TAPA DE INSPECCIÓN
5	OBTURADOR
6	ANILLO PERFILADO
7	ANILLO DE APRIETE
8	EJE DE ACCIONAMIENTO
9	COJINETE A BRIDA

La válvula es operada mediante un sistema hidráulico que se acciona automáticamente con el encendido de la unidad de bombeo.

Figura 90. Sistema Hidráulico de apertura y cierre de la válvula



- |      |  |     |  |
|------|--|-----|--|
| 1    | Cilindro   | 5   | Depósito de compensación   |
| 1.1  | Desaireación   | 5.1 | Conexión de llenado con filtro-tamiz   |
| 2    | Bomba manual de aceite   | 5.2 | Válvula de retención   |
| 2.1  | Válvula de retención   | 5.3 | Filtro-tamiz   |
| 2.3  | Válvula de retención   | 5.4 | Indicador del nivel de aceite  |
| 2.4  | Limitador de presión   | 5.6 | Desaireación   |
| 2.5  | Interruptor térmico  |     |  |
| 3    | Motobomba  |     |  |
| 4    | Bloque de control  |     |  |
| 4.1  | Válvula de cartucho (válvula principal)  | 4.2 | Válvula electromagnética (piloto)  |
| 4.4  | Válvula de regulación de caudal S1 - fase 1  | 4.4 | Válvula de regulación de caudal S1 - fase 1  |
| 4.5  | Válvula de regulación de caudal S2 - fase 2  | 4.5 | Válvula de regulación de caudal S2 - fase 2  |
| 4.6  | Válvula de bola de 3/3 vías (disparo de emergencia, válvula de bloqueo, posición de trabajo) | 4.6 | Válvula de bola de 3/3 vías (disparo de emergencia, válvula de bloqueo, posición de trabajo) |
| 4.10 | Desaireación   |     |  |

Fuente: < [www.erhard.de](http://www.erhard.de) >

Para la apertura de la válvula se efectúa cuando la bomba (eléctrica) del sistema hidráulico aspiran el aceite del compartimento del cilindro del lado del vástago, o del depósito de compensación (5), produciendo una presión que actúa sobre el lado del pistón y que permite levantar el contrapeso. En posición abierta, el aceite no debe escapar del cilindro (1). Esto se asegura mediante el bloque de control (4) y sus combinaciones de válvula. Las válvulas piloto, accionadas mecánicas, eléctrica o hidráulicamente (4.2) controlan la válvula principal (4.1) que cierra o abre el paso al flujo de aceite desde el cilindro. El accionamiento se mantiene hidráulicamente en posición de trabajo (contrapeso levantado). Esto tiene la ventaja de que las pérdidas o fugas internas de aceite se detectan inmediatamente por el descenso del contrapeso. Un descenso no admisible desde la posición abierta se detecta mediante un interruptor adicional de fin de carrera (90 % abierto) que efectúa la conexión automática de la motobomba (3) y el rearme del contrapeso a la posición 100 % abierto.

La velocidad de descenso en la primera fase de amortiguación (aprox. 70 % del recorrido de cilindro) puede ajustarse en la válvula de regulación de caudal S1, utilizando para la segunda fase la válvula de regulación de caudal S2. Las válvulas de regulación de caudal estabilizan el caudal, independientemente de la presión diferencial. Gracias a esta construcción, son posibles montajes de regulación escalonados para el descenso del contrapeso. Estos montajes son necesarios para reducir los golpes de ariete en la tubería a valores admisibles con tiempos de cierre tan cortos como sea posible.

Para compensar la diferencia de volumen entre el compartimento del cilindro del lado del vástago y el del lado del pistón y para tener una pequeña reserva de aceite en caso de pérdidas por fugas, el accionamiento va dotado de un depósito de compensación (5) con control visual del nivel de aceite. Para captar y señalar

diferentes posiciones del obturador de la válvula, hay interruptores de fin de carrera montados en la cubierta. Además de la señalización, los interruptores de fin de carrera sirven también para el mando de los elementos eléctricos en el accionamiento por contrapeso. El accionamiento por contrapeso va dotado de electroválvula piloto (válvula electromagnética 4.2) y motobomba (3), es necesario un armario de mando para operar la válvula. El disparo del movimiento de cierre con válvulas-piloto eléctricas, se efectúa por excitación (concepto de circuito abierto) o por desexcitación (concepto de circuito cerrado) de la electroválvula (4.2). Así, se dispara el descenso del contrapeso. Los componentes (motobomba 3; interruptor térmico 2.5; válvula piloto 4.2 e interruptores fin de carrera) deben accionarse eléctricamente.

La válvula también se puede operar mediante la bomba manual y la manipulación de la válvula direccional de 3/3 vías (válvula manual) que están montada en el bloque de mando hidráulico. Esta válvula manual tiene las siguientes posiciones de conmutación:

- Posición de servicio
- Posición de bloqueo
- Posición de descenso

Para el servicio normal la válvula manual debe ser en posición de servicio (Accionamiento con bomba eléctrica). La posición de bloqueo sirve para cerrar la tubería de retorno y esta solo se cierra sólo cuando se efectúan trabajos de reparación se efectúan en el bloque de mando o cuando la válvula debe abrirse manualmente en casos de emergencia mediante el accionamiento de la bomba manual. La posición de bloqueo sirve cuando la válvula debe cerrarse manualmente en casos de emergencia

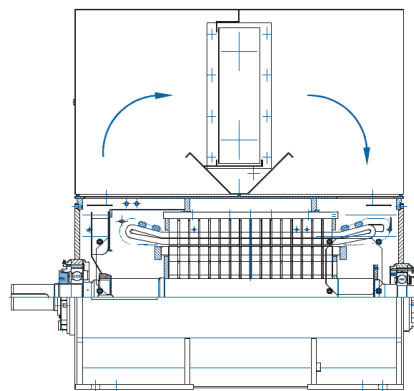
La última válvula con la que cuenta la unidad de bombeo es la válvula de guarda, tipo compuerta, de 600 mm de diámetro, de accionamiento manual con pulsadores límites de carrera, las cuales envían una señal eléctrica a los tableros de supervisión y control.

Además la unidad de bombeo cuenta dos manómetros, situados uno en la tubería de aspiración y otro en la tubería de impulsión de la bomba y tres grifos de ventilación.

#### 4.3.1.2. Descripción del Subsistema Eléctrico

El sistema eléctrico comienza en el motor eléctrico. Cada bomba está acoplada a un motor eléctrico (ver figura 92), marca TIBB (ABB) tipo QWS 630Kb4 de 3780 Kw, 60 Hz, 4160 V, 597 A y el momento de inercia natural de cada conjunto motor-bomba es de 206 kg-m<sup>2</sup>, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo FALH 160. Este motor totalmente cerrado está equipado con un intercambiador de calor aire-agua. Un eje de montaje del ventilador instalado en el interior de la cubierta para abastecer el circuito de refrigeración interna. El motor está protegido contra polvo y salpicaduras de agua desde cualquier dirección.

Figura 91. Sistema de refrigeración del motor



Fuente: ABB, Manual para motores y generadores de inducción

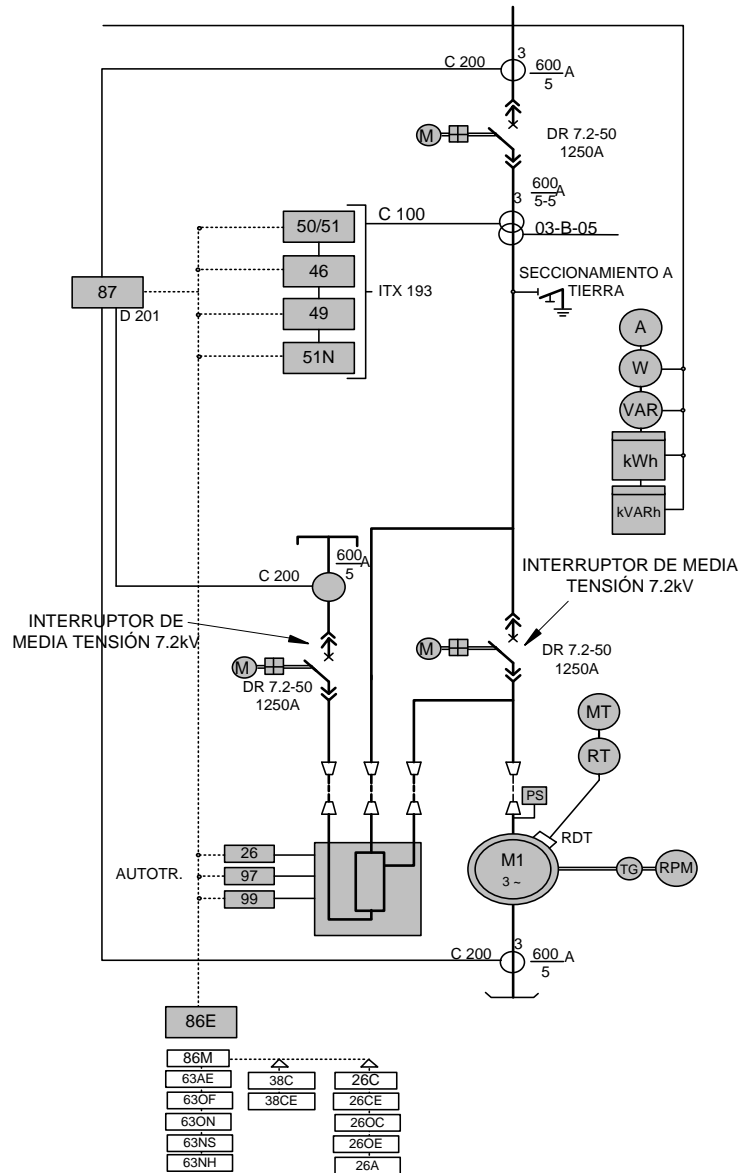
Figura 92. Principales componentes del motor de la unidad de bombeo



Fuente: ABB, Manual para motores y generadores de inducción

En la figura 93 podemos ver la conexión eléctrica del motor, conformada por el sistema de arranque (autotransformador e interruptores de media tensión), y las conexiones de las protecciones eléctricas del motor, también podemos ver parte del sistema de control, como el bloqueo mecánico y eléctrico etc. El sistema de protecciones del motor la conforma el relé diferencial (identificado en la figura con el numero 87) programada accionándose si la diferencia entre la corriente de entrada y la de salida es mayor a 20%. El relé térmico es programado para dispararse si existe una sobrecarga que exceda la corriente en un 20% (identificado en la figura con el numero 49). Las protecciones contra corto circuito están programadas para dispararse a 2000 A en forma instantánea (identificado en la figura con el numero 50) y 750 A en forma temporizada a los 10 s (identificado en la figura con el numero 51). Las dos últimas protecciones son la de secuencia negativa, programada para accionarse si esta corriente excede el 4% de la corriente del motor (identificado en la figura con el numero 46) y el relé de falla a tierra del motor programado para accionarse si esta corriente excede el 0.5% de la corriente del motor después de 10 s (identificado en la figura con el numero 51N), o si excede el 1% de la corriente del motor de forma instantánea.

Figura 93. Esquema de la Conexión Eléctrica del Motor de la Unidad de Bombeo




Fuente: A.M.B. S.A. E.S.P., Descripción de la Estación de Bombeo Bosconia


#### 4.3.2. Hoja de Información del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1

El paso a seguir en el proceso de análisis RCM del sistema de cloración es el llenado de la hoja de información, en donde se definen las funciones, fallas funcionales y se realiza en análisis de modos de fallas y sus efectos AMFE.


Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	1	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	Bombear agua a un flujo mínimo de 667 l/s hasta una altura dinámica total de 394 m	A	No bombea agua	1	Impulsores bloqueados por un objeto extraño	Si un objeto extraño, está presente en el sistema luego de una intervención, ingresa a la bomba, bloquea el impulsor, el motor se sobrecarga, la protección del motor contra sobrecarga se activa y el sistema se detiene. El sistema no puede suministrar agua al proceso.
				2	Válvula mariposa de succión cerrada	La válvula de succión solo se utiliza cuando se está interviniendo el sistema de suministro de agua y el sistema está fuera de servicio. Si la válvula de succión queda cerrada luego de una intervención y, en el arranque la bomba se queda sin agua, los rodamientos del motor por sobrecalentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.
				3	Válvula de compuerta de impulsión cerrada	La válvula de descarga solo se utiliza cuando se está interviniendo el sistema de suministro de agua, el sistema está fuera de servicio. Si la válvula de descarga queda cerrada luego de una intervención y, en el arranque la bomba está llena de agua, los rodamientos del motor por sobre calentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.
				4	Válvula antiretorno bloqueada con objeto en posición cerrada	Si la válvula de antiretorno queda bloqueada en posición cerrada por algún objeto extraño después de una intervención, en el arranque la bomba está llena de agua, los rodamientos del motor por sobre calentamiento hasta que estos se dañan. La protección contra sobrecarga se activa y se detiene el motor. El sistema no suministra agua al proceso.


(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	2	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Bombear agua a un flujo mínimo de 667 l/s hasta una altura dinámica total de 394 m	A	(Continuación) No bombea agua	5	Entrada de aire a la bomba por la tubería de succión	Si una bolsa de aire o gas queda en la bomba después de una intervención, y la bomba no es desairada adecuadamente, esta puede entrar los impulsores y obstruir el paso de agua en la descarga, pudiendo dañar el impulsor. El sistema no suministra agua al proceso.
				6	Cojinetes del eje de la bomba desgastados	Cuando los cojinetes presentan desgaste, la bomba comienza a vibrar, incrementa el ruido y se recalienta a medida que continua el funcionamiento del motor. En algún momento el rodamiento falla. El motor trabaja en sobrecarga, se dispara la protección del motor contra sobrecarga. El sistema no suministra la potencia requerida en el proceso.
				7	Eje fatigado	Al fatigarse el eje de la bomba, esta se frena, detiene el motor por aumento de amperaje, la protección del motor actúa y el motor se detiene. El sistema no suministra la potencia requerida en el proceso.
				8	Cuñas desgastadas del eje de la bomba	Si las cuñas que ajustan los impulsores al eje se desgastan y toman huelgo, estas dejaran de transmitir la potencia requerida por la bomba. Los impulsores quedan sueltos y el fluido pierde energía hidráulica. El flujo de agua se ve disminuido hasta el punto que no bombea. El sistema no suministra agua al proceso.
				9	Acople de la bomba mal montado	Al estar el acople mal montado ante una intervención generará vibraciones que hará que este se fracture provocando que la bomba no suministre agua.
				10	Falla en el sistema eléctrico	El sistema eléctrico se analiza por separado.


(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	3	
		Subsistema		Auditor	de	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Bombear agua a un flujo mínimo de 667 l/s hasta una altura dinámica total de 394 m	B	Bombee agua a un flujo menos a 620 l/s	1	Impulsores de la bomba desgastados	Si alguno de los impulsores de la bomba esta desgastado tiene un diámetro inferior y el flujo a través de la bomba disminuye gradualmente. Este flujo es monitoreado a través de un sensor que envía la señal a indicando el valor de caudal bombeado. El sistema no será capaz de suministrar los 667 l/s.
				2	Camisas de posicionamiento de impulsores desgastadas	Si alguna de las camisas de posicionamiento del eje se desgasta, ya no se podrá contener el impulsor en su lugar y este se ira saliendo lentamente hasta que ya no es capaz de suministrar la cantidad de flujo deseada.
				3	Anillos de desgaste deteriorados	Los anillos de desgaste montados en la carcasa y en los impulsores se deterioran con el aumento del tiempo de operación de la bomba. En algún momento estos se desgastan hasta el punto que la bomba no es capaz de suministrar los 667 l/s de agua.
				4	Desgaste excesivo de los difusores y placas interetapas	Las placas interetapas y los difusores se deterioran con el aumento del tiempo de operación de la bomba. En algún momento estos se desgastan hasta el punto que la bomba no es capaz de suministrar los 667 l/s de agua.
				5	Falla en el tanque de almacenamiento	El sistema eléctrico se analiza por separado.
2	Contener el agua, permitiendo solo una fuga en el prensaestopa de máximo 3 l/min	A	No contiene el agua	1	Juntas entre componentes desgastadas	Las juntas al desgastarse, se cristalizan y deja pasar cierta cantidad de agua. A medida que crece la fuga el sistema pierde presión y flujo de agua. Cualquier fuga puede resultar en daños más graves por lo que se manejan equipos eléctricos de gran costo cercanos al área.


(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	4	
		Subsistema		Auditor	de	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	(Continuación) Contener el agua, permitiendo solo una fuga en el prensaestopa de máximo 3 l/min	A	(Continuación) No contiene el agua	2	Prensaestopa desajustado	El prensaestopa se va desajustando con el paso del tiempo, permitiendo una fuga mayor a 3 l/min de agua. En este punto, la fuga ya sobrepasa los niveles permitidos para este componente, y puede generar un problema operacional al entrar en contacto con componentes eléctricos cercanos.
				3	Prensaestopa desgastado	En algún momento el prensaestopa se desgasta hasta el punto que no es posible ajustarlo para impedir la fuga. En este punto, la fuga ya sobrepasa los niveles permitidos para este componente, y puede generar un problema operacional al entrar en contacto con componentes eléctricos cercanos.
				4	Empaque en la carcasa de la bomba roto	El empaque de la carcasa de la bomba se cristaliza con el paso del tiempo y en algún momento por la vibración natural de la bomba, este se romperá. La bomba no es capaz de contener el agua.
				5	Válvulas para desairar abiertas	Si las válvulas de desairar quedan abiertas después de una intervención, el sistema no podrá contener el agua. Esta saldrá con bastante presión por las válvulas de desairar y podría tener consecuencias operacionales al interferir con el funcionamiento de equipos eléctricos cercanos.
				6	Cuerpo de las válvulas corroídos internamente	Los cuerpos de las válvulas de succión y descarga se corroen con el tiempo. La pintura interior anticorrosiva se va deteriorando hasta el punto que deja expuesta la superficie metálica. La válvula pierde espesor de metal hasta el punto que se perfora provocando fugas.


(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	5	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
2	(Continuación) Contener el agua, permitiendo solo una fuga en el prensaestopa de máximo 3 l/min	A	(Continuación) No contiene el agua	7	Pantalones de succión desgastados	Los pantalones de succión se van deteriorando con el tiempo. El espesor de la lámina con la cual se fabrica va disminuyendo hasta el punto en que se agrieta y ya no es capaz de contener el fluido.
3	Permitir desairar la bomba después de una intervención en cualquier componente	A	No permite desairar la bomba	1	Válvulas de desairar taponadas	Si la válvula de desairar se encuentra taponada por algún objeto extraño, no va ser posible evacuar el aire de la bomba después de una intervención. El sistema comienza a funcionar irregularmente.
				2	Válvula de desairar dañada	La válvula de desairar la bomba se va desgastando con el paso del tiempo hasta el punto que no cumple su función. No es posible desairar la bomba y el sistema funciona irregularmente.
4	Indicar la presión de aspiración de la bomba con un error máximo al 10% de la presión real	A	Indica la presión de aspiración de la bomba con un error mayor al 10% de la presión real	1	Manómetro de aspiración descalibrado	Si el manómetro de aspiración esta fuera de calibración y provee errores en las lecturas mayores al 10%. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.
		B	No indica la presión de aspiración de la bomba	2	Caratula de manómetro de aspiración partido por golpe	Si la caratula del manómetro de aspiración se parte por un golpe, no se puede visualizar la presión en la aspiración de la bomba, y es difícil diagnosticar daños en el sistema.
5	Indicar la presión de impulsión de la bomba con un error máximo al 10% de la presión real	A	Indica la presión de impulsión de la bomba con un error mayor al 10% de la presión real	1	Manómetro de impulsión descalibrado	Si el manómetro de impulsión esta fuera de calibración y provee errores en las lecturas mayores al 10%. Esta lectura falsa puede llevar a tomar decisiones incorrectas a operadores o mantenedores.

(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	6	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
5	(Continuación) Indicar la presión de impulsión de la bomba con un error máximo al 10% de la presión real	B	No indica la presión de impulsión de la bomba	2	Caratula del manómetro de impulsión partido por golpe	Si la caratula del manómetro de impulsión se parte por un golpe, no se puede visualizar la presión en la impulsión de la bomba, y es difícil diagnosticar daños en el sistema.
6	Bloquear el paso de agua en la succión de la bomba para efectos de mantenimiento	A	No bloquea el paso de agua	1	Mecanismo de cierre de la válvula mariposa bloqueado por falta de lubricación	Si el mecanismo de cierre de la válvula de succión no está lo suficientemente lubricado, este llegara el momento en que se traba y es difícil o imposible operar la válvula. Si la válvula se traba en posición cerrada no se puede poner a funcionar el sistema. Si se traba en posición abierta, no se podrá aislar el sistema para trabajos de mantenimiento.
				2	Anillo perfilado deteriorado	Si el anillo perfilado de la válvula mariposa se deteriora con el tiempo y el uso normal de la válvula, este no va a garantizar la hermeticidad total en el cierre de la válvula, haciendo más difícil el trabajo de mantenimiento cuando se necesite cerrar.
7	Prevenir el reflujo hacia la bomba en caso de que la válvula de control no cierre	A	No previene el reflujo en caso de que la válvula de control no cierre	1	Desgaste del engomado del anillo del pistón interior	Si el engomado de la válvula antiretorno se desgasta, esta ya no podrá garantizar la hermeticidad y ya no podrá prevenir el reflujo hacia la bomba cuando esta fuera de servicio.
8	Controlar el flujo en el arranque de la bomba con la apertura suave en de la válvula de control	A	La válvula de control no abre	1	Falla en los anillos del vástago del cilindro en el sistema hidráulico	Los anillos del vástago en el cilindro son los que garantizan que no existan fugas internas en el cilindro, para poder levantar el contrapeso. Si estos anillos se desgastan, el sistema del circuito hidráulico no podrá levantar el contrapeso, y la válvula no se abrirá. El sistema completo se para.

(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	7	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
8	(Continuación) Controlar el flujo en el arranque de la bomba con la apertura suave en de la válvula de control	A	(Continuación) La válvula de control no abre	2	Falla el fluido del sistema hidráulico	El fluido del sistema del circuito hidráulico es el encargado de transmitir la potencia para poder abrir la válvula. Si este aceite cambia sus propiedades con el paso del tiempo por el uso normal, no será posible transmitir la potencia suficiente. El sistema completo se detiene.
				3	Presencia de aire en el sistema hidráulico	Si el sistema hidráulico no se desaira después de una intervención, este no va a poder abrir la válvula. Le resulta difícil al sistema levantar el contrapeso y el sistema se detiene por completo.
9	Prevenir el reflujo hacia la bomba cuando el sistema esta fuera de servicio	A	No previene el reflujo hacia la bomba	1	Desgaste del engomado del anillo perfilado en la válvula de bola	Si el anillo perfilado de la válvula de bola se deteriora con el tiempo y el uso normal de la válvula, este no va a garantizar la hermeticidad total en el cierre de la válvula, haciendo más difícil el trabajo de mantenimiento cuando se necesite cerrar.
10	Prevenir el golpe de ariete cuando la bomba se apaga, mediante un cierre de la válvula de control en dos etapas	A	La válvula de control no cierra con la velocidad adecuada	1	Válvula reguladora de caudal 4.4 mal ajustada para el cierre en la primera etapa	La válvula reguladora controla en flujo en el circuito hidráulico de cierre de la válvula en la primera etapa, que es la de mayor velocidad. Si esta válvula no está calibrada para la velocidad adecuada no se podrá prevenir el golpe de ariete en el sistema. Podrían dañarse componentes en la bomba.
				2	Válvula reguladora de caudal 4.5 mal ajustada para el cierre en la segunda etapa	La válvula reguladora controla en flujo en el circuito hidráulico de cierre de la válvula en la segunda etapa, que es la de menor velocidad. Si esta válvula no está calibrada para la velocidad adecuada no se podrá prevenir el golpe de ariete en el sistema. Podrían dañarse componentes en la bomba.

(Continuación) Tabla 24. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Hidráulico




F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	8	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
11	Bloquear el paso de agua en la impulsión de la bomba para efectos de mantenimiento	A	No bloquea el paso de agua en la impulsión de la bomba para efectos de mantenimiento	1	Obstrucción en la compuerta de impulsión por deterioro	La compuerta de impulsión puede fallar por deterioro en el sello y superficie del asiento de la compuerta. Esta superficie se desgasta a medida que crece su tiempo de operación. En determinado momento la compuerta no bloquea el paso de agua para permitir operaciones de mantenimiento.
				2	Vástago de la compuerta de impulsión trabado por falta de lubricación	Si el vástago de la compuerta de impulsión no está lo suficientemente lubricado, este llegara el momento en que se traba y es difícil o imposible operar la válvula. Si la válvula se traba en posición cerrada no se puede poner a funcionar el sistema. Si se traba en posición abierta, no se podrá aislar el sistema para trabajos de mantenimiento.
12	Lucir aceptable	A	No luce aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura en las válvulas y bomba se desprende y se ve desagradable antes de que las propiedades de protección a la corrosión se vean afectadas, esto exhibe una imagen desagradable.
				2	Equipos sucios	Un equipo sucio exhibe una imagen inaceptable a los empleados y personal en general. Dificulta realizar de manera correcta la inspección visual en los equipos y el mantenimiento de los mismos.


Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	1	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	Proporcionar una potencia mecánica de 3780 Kw a la bomba	A	No proporciona potencia mecánica	1	Rodamientos del eje del motor desgastados	<p>Cuando el rodamiento presenta desgaste comienza vibrar, incrementa el ruido y se recalienta a medida que continúa funcionando del motor. En algún momento el rodamiento falla. El motor trabaja en sobrecarga y se dispara la protección del motor contra sobrecarga. El sistema no suministra la potencia requerida en el proceso.</p> <p>El sistema de lubricación se analiza por separado</p> <p>Si algo de húmeda entra en el motor y no se trata a tiempo, esta con el tiempo comienza a deteriorar los materiales aislantes en el motor. El motor en algún momento hace corto circuito, ya sea entre el devanado y tierra, o entre fases o espiras por falta de aislante. El motor se detiene, disparándose la protección contra corto circuito. El sistema no suministra la potencia requerida.</p> <p>Si los contactos del interruptor de sobrecarga de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de sobrecarga falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.</p> <p>Si los contactos del interruptor de corto circuito de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de corto circuito falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.</p>
				2	Falla en el sistema de lubricación	
				3	Húmeda en partes internas de motor	
				4	Contacto del interruptor de sobrecarga del motor desgastado	
				5	Contacto de interruptor de corto circuito del motor desgastado	


(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	2	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 3780 Kw a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	6	Contacto de interruptor de falla a tierra del motor desgastado	Si los contactos del interruptor de falla a tierra de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de corto circuito falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.
				7	Contacto de interruptor de secuencia negativo del motor desgastado	Si los contactos del interruptor de secuencia negativa de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de corto circuito falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.
				8	Contacto de interruptor diferencial del motor desgastado	Si los contactos del interruptor diferencial de motor se desgastan o deterioran, en algún momento, el interruptor de corto circuito falla abriéndose e interrumpiendo la energía eléctrica, deteniendo el motor. El motor deja de suministrar la potencia necesaria al proceso.
				9	Rotor bloqueado por el sistema de bombeo	La bomba se analiza por separado
				10	Rotor bloqueado por objeto extraño	Si un objeto extraño queda atascado en el rotor después de una intervención, este hace que el motor se sobrecargue, el sistema se detiene por acción de la protección de sobrecarga, el sistema no suministra la potencia requerida.
				11	Bornes de conexión sueltos o sucios	Si los bornes de conexión están sueltos o sucios, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.


(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	3	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 3780 Kw a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	12	Bornes de conexión corroídos	Si los bornes de conexión están corroídos, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.
				13	Aislamiento entre fases y devanados desgastado	El aislamiento del motor entre fases o devanados se puede desgastar por el uso del motor, este se va deteriorando hasta perder sus propiedades de alta resistencia. El motor entra en corto circuito y se detiene por acción de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.
				14	Aislamiento estator - tierra desgastado	El aislamiento del motor se puede desgastar por el uso del motor, este se va deteriorando hasta perder sus propiedades de alta resistencia. El motor entra en corto circuito y se detiene por acción de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida.
				15	Ventilación restringida por suciedad	Si en el interior del motor hay suficiente suciedad como para obstruir la ventilación el estator y rotor, el motor no se podrá refrigerar adecuadamente, el motor se recalentara y el aislante se deteriorara con el paso del tiempo. En algún momento el motor hace corto circuito y se detiene por el accionamiento de la protección. El sistema no suministra la potencia requerida
				16	Falla sistema de energía eléctrica	El sistema de energía eléctrica se analiza por separado


(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	4	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 3780 Kw a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	17	Cables conductores rotos o cobre desgastado en el motor	Si existen cables rotos o fracturados, estos se van a sobrecalentar por una falsa conexión, hasta llegar al punto de carbonizar el conductor y dejar de suministrar energía al sistema. El motor se detiene y deja de suministra la potencia requerida.
				18	Poca ventilación por desgaste o rotura del ventilador	Si el ventilador se desgasta o tiene aspas partidas por fatiga, este no va a generar la suficiente ventilación para que el motor este a la temperatura adecuada, el aislamiento en el estator se deteriora y genera un corto circuito. La protección en el motor se dispara y deja de funcionar. El sistema no suministra la potencia requerida.
				19	Entrehierro no uniforme - rotor excéntrico por deflexión o pandeo del eje	Si el rotor se patea o deflecta, el rotor queda desbalanceado y comienza a sobrecargar los rodamientos. También puede comenzar a rozar con el estator y perforarlo. Los rodamientos de recalientan. La protección contra sobrecarga se dispara y el motor se detiene. El sistema no suministra la potencia requerida.
				20	Desbalanceo por aglomeración de polvo en el ventilador	Si se acumula suficiente suciedad o polvo en el motor, puede llegar a ser una masa que desbalanceo en el rotor. Con el motor desbalanceado, los rodamientos comienzan a sobrecargarse, recalentándose hasta que fallan. El motor se detiene y el sistema no es capaz de suministrar potencia.


(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	5	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación) Proporcionar una potencia mecánica de 3780 Kw a la bomba	A	(Continuación) No proporciona potencia mecánica	21	Desalineamiento en el acople	Si el motor no se encuentra correctamente alineado con la bomba, este va a comenzar a tener ruido excesivo, y vibrara por encima de los niveles recomendados, esto hace que se fatiguen los rodamientos hasta el punto de fallar. El motor se detiene por la acción de la protección de sobrecarga y el sistema no suministra la potencia requerida.
		B	Proporciona una potencia mecánica baja	1	Falta de conexión de una fase - Desbalance en carga eléctrica	Si una fase no se conecta o queda mal la conexión este no va a suministrar la energía necesaria para proporcionar la potencia requerida. El motor puede funcionar a una velocidad más baja de lo usual.
				2	Rotor con grietas o barras sueltas	Si el rotor presenta grietas o rotura de barras, este puede desbalancearse y presentar una leve excentricidad dinámica. Esto hace que el motor pierda potencia y puede que gire a una velocidad menor. El sistema pierde potencia para suministrar.
				3	Soltura mecánica en la base del motor	Si el motor presenta soldadura mecánica en la base del motor por los tornillos sueltos, este va a comenzar a vibrar y presentara un funcionamiento anómalo. El motor en algún momento comienza a suministrar menos potencia, perdiendo fuerza.
2	Prevenir que entren fluidos y partículas al interior del motor	A	No previene que fluidos y partículas entren en el motor	1	Pernos de la carcasa del motor desajustados	Si los pernos del motor no están bien ajustados, el motor queda expuesto a que puedan ingresar partículas abrasivas como polvo o suciedad, hasta el punto de deteriorar los rodamientos y el aislamiento del motor, afectando la potencia del mismo.


(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	Hoja N° 6	
		Subsistema ELECTRICO		Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO	de 8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
3	Detener el motor en caso de que la corriente sobrepase por sobrecarga los 716 A	A	No detiene el motor en caso de que la corriente sobrepase los 716 A	1	Protección térmica de sobrecarga a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 716 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta el punto en que el aislamiento se carboniza y ocurre una falla de corto circuito. En este momento la corriente aumenta hasta disparar la protección de corto circuito. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
4	Detener el motor de forma instantánea en caso de que la corriente de corto circuito sobrepase los 2000 A	A	No detiene el motor de forma instantánea en caso de que la corriente de corto circuito pase de 2000 A	1	Protección de cortocircuito instantánea a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 2000 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
5	Detener el motor en caso de que la corriente de corto circuito sobrepase los 750 A durante 10 s	A	No detiene el motor en caso de que la corriente de corto circuito pase de 750 A durante 10 s	1	Protección de cortocircuito temporizada a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 750 A durante más de 10 s, y el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
6	Detener el motor en caso de que la corriente de entrada y de salida del motor tengan una diferencia de 20%	A	No detiene el motor en caso de la corriente de entrada y de salida del motor tenga una diferencia de 20 %	1	Protección diferencial a fallado	En caso de que la corriente de entrada y la de salida del motor tengan una diferencia de 20%, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.

(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO			REV.: 0	
		HOJA DE INFORMACION RCM				
		Sistema		Facilitador	Hoja N°	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	7	
		Subsistema		Auditor	de	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
7	Detener el motor en caso de que la corriente de secuencia negativa sobrepase los 25 A	A	No detiene el motor en caso de que la corriente de secuencia negativa sobrepase de 25 A	1	Protección de secuencia negativa a fallado	En caso de que la corriente de alimentación del motor exceda los 25 A, y el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
8	Detener el motor en caso de que la corriente de falla a tierra sobrepase los 3 A durante 10 s	A	No detiene el motor en caso de que la corriente de falla a tierra sobrepase de 3 A durante 10 s	1	Protección de falla a tierra temporizada a fallado	En caso de que la corriente de falla a tierra del motor exceda los 3 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
9	Detener el motor de forma instantánea en caso de que la corriente de falla a tierra sobrepase los 6 A de forma	A	No detiene el motor de forma instantánea en caso de que la corriente de falla a tierra sobrepase de 6 A	1	Protección de falla a tierra instantánea a fallado	En caso de que la corriente de falla a tierra del motor exceda los 6 A, el motor no se apaga y continúa trabajando. En este caso el motor se sobrecalienta hasta que la protección térmica contra sobrecarga es accionada. Puede ocurrir carbonización de espiras o del devanado completo.
10	Enfriar el aire de ventilación del motor hasta mínimo 45 °C	A	No enfría el aire de ventilación del motor	1	Tubería del intercambiador obstruida por lodo o incrustaciones	Al estar la tubería del intercambiador obstruida fluye menos agua refrigerante por las tuberías perjudicando la eficiencia del enfriamiento. La temperatura se eleva y la alarma una alarma se activa en la sala de control cuando esta llega a 45 °C. Si el sistema no es apagado, este puede presentar un recalentamiento en el estator y deteriorar el aislamiento del motor. El sistema se detiene por la acción de la protección.
				2	Tubos del intercambiador corroídos	El agua de enfriamiento se sale de los tubos del intercambiador y cae sobre el motor eléctrico. Si no se apaga el sistema de refrigeración puede que esta agua entre al interior del motor provocando graves secuelas en el. El motor se apaga por acción de la protección.

(Continuación) Tabla 25. Hoja de Información – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 020		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE INFORMACION RCM			REV.: 0	
		<b>Sistema</b>		<b>Facilitador</b>	<b>Hoja N°</b>	
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1		Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ	8	
		<b>Subsistema</b>		<b>Auditor</b>	<b>de</b>	
		ELECTRICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO	8	
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
11	Lucir aceptable	A	No luce aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura en el motor se desprende y se ve desagradable antes de que las propiedades de protección a la corrosión se vean afectadas, esto exhibe una imagen desagradable.
				2	Equipos sucios	Un equipo sucio exhibe una imagen inaceptable a los empleados y personal en general. Dificulta realizar de manera correcta la inspección visual sobre los equipos y el mantenimiento de los mismos.


### **4.3.3. Programa de Mantenimiento: Hoja de Decisión del Sistema de la Unidad de Bombeo N° 1**

Al igual que en el sistema de cloración el paso a seguir en el estudio de RCM es analizar las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justificar si merece hacerle una tarea de mantenimiento. Para este proyecto se van a estimar las siguientes consecuencias a modo de propuesta:


- Fallas ocultas o evidentes.
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

Después de la evaluación de las consecuencias en el diagrama de decisión RCM, continua con la decisión de qué tipo de tarea se va a realizar para mitigar dichas consecuencias y así disminuir su impacto. En este punto se debe tener en cuenta cual es la mejor opción para la organización.


Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021		COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO											REV.: 0		
		HOJA DE DECISION RCM													
		Sistema					Facilitador						Hoja N°		
		UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						1		
		Subsistema					Auditor						De		
		HIDRAULICO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO						7		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
			N1	N2	N3										
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro de la bomba después de una intervención.		
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento operativo estándar para asegurar que la válvula de succión quede abierta luego de una intervención.		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento operativo estándar para asegurar que la válvula de impulsión quede abierta luego de una intervención.		
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro de la válvula antiretorno después de una intervención.		
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - desarrollar un procedimiento operativo estándar para desairar la bomba después de una intervención.		


(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja N° 2	
			Subsistema HIDRAULICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 7	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar los bujes de la bomba para comprobar su desgaste realizando un análisis de vibraciones. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una vibración fuera del estándar.	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	A	7	S	N	N	S	S						Inspeccionar la integridad del eje mediante un análisis de radiografía por rayos X y tintas penetrantes. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una condición fuera del estándar.	15 años	Técnico de Mantenimiento
1	A	8	S	N	N	S	S						Inspeccionar la integridad de las cuñas mediante un análisis de radiografía por rayos X y tintas penetrantes. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una condición fuera del estándar.	15 años	Técnico de Mantenimiento
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento estándar para garantizar que el acople entre el motor y la bomba quede bien montado después de una intervención.		
1	A	10											Se analiza por separado		
1	B	1	S	N	N	S	S						Observar el caudal bombeado por el sistema de forma continua, cuando se observe una disminución gradual y notable de este caudal, generar una orden de trabajo para reemplazar los impulsores.	Diario	Operador


(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO										REV.: 0		
			HOJA DE DECISION RCM												
			Sistema					Facilitador					Hoja N°		
			UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					3		
			Subsistema					Auditor					De		
			HIDRAULICO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO					7		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
							N1	N2	N3						
1	B	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar la integridad de las camisas con la ayuda de un boroscopio. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una condición fuera del estándar.	2 años	Técnico Especializado
1	B	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar la integridad de los anillos de desgaste con la ayuda de un boroscopio. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una condición fuera del estándar.	2 años	Técnico Especializado
1	B	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar la integridad de los difusores y placas interetapas de desgaste con la ayuda de un boroscopio. Genere una orden de trabajo para reemplazar los bujes cuando se observe una condición fuera del estándar.	2 años	Técnico Especializado
1	B	5											Se analiza por separado.		
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar las juntas de las tuberías para comprobar si hay desgastes, buscando signos de fugas de agua, o húmeda en el piso. Generar una orden de trabajo para reemplazar las juntas si se detecta una fuga.	Mensual	Operador
2	A	2	S	N	N	S	S						Aforar en agua de drenaje que sale por el prensaestopa. Reajustar el prensaestopa en caso de la fuga de agua sea mayor a 3 l/min.	Mensual	Técnico Mecánico
2	A	3	S	N	N	S	S						Cambiar el prensaestopa en la bomba por uno nuevo y ajustarlo para que permita solo una fuga de 3 l/min.	Anual	Técnico Mecánico


(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0		
			Sistema					Facilitador						Hoja N°		
			UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						4		
			Subsistema					Auditor						De		
			HIDRAULICO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO						7		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
							N1	N2	N3							
2	A	4	S	N	N	S	S							Inspeccionar la junta de la carcasa de la bomba para comprobar si hay desgastes, buscando signos de fugas de agua, o húmeda en el piso. Generar una orden de trabajo para reemplazar las juntas si se detecta una fuga.	Mensual	Operador
2	A	5	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento operativo estándar para garantizar el cierre de las válvulas de desairar la bomba después de evacuar el aire.		
2	A	6	S	N	N	S	S							Realizar una inspección del cuerpo de las válvulas con ultrasonido buscando signos de deterioro del cuerpo y de su recubrimiento interno. Generar una orden de trabajo para hacer sandblasting y recubrir la superficie nuevamente.	2 años	Técnico Especializado
2	A	7	S	N	N	S	S							Realizar una inspección de grosor de la lámina de los pantalones de succión con ultrasonido buscando signos de deterioro del cuerpo y de su recubrimiento interno. Generar una orden de trabajo cambiarlos en caso de una anomalía.	2 años	Técnico Especializado
3	A	1	S	N	N	S	S							Verificar el que ningún objeto extraño pueda taponar las válvulas de desairar la bomba. Realizar labores de limpieza en la boca de la válvula en caso de encontrar algo extraño.	3 meses	Técnico Mecánico

(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 5		
			Subsistema HIDRAULICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 7		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
3	A	2	S	N	N	S	S						Verificar el buen funcionamiento de la válvula de desairar, abriendo la y cerrándola, garantizando que cumpla con su función. En caso de haber fallado, realizar el cambio inmediato.	3 meses	Técnico Mecánico
4	A	1	S	N	N	S	N	S					Calibrar el manómetro de aspiración, hacer una evaluación del vacuometro a 5 psi si la lectura tiene una desviación mayor del 10% reemplazar el manómetro.	2 años	Instrumentista
4	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un recorrido de inspección en el lugar para garantizar que no existan objetos extraños en el área que puedan dañar componentes.		
5	A	1	S	N	N	S	N	S					Calibrar el manómetro de impulsión, hacer una evaluación del vacuometro a 5 psi si la lectura tiene una desviación mayor del 10% reemplazar el manómetro.	2 años	Instrumentista
5	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un recorrido de inspección en el lugar para garantizar que no existan objetos extraños en el área que puedan dañar componentes.		
6	A	1	S	N	N	S	N	S					Lubricar el mecanismo de cierre de la válvula de mariposa, después comprobar su funcionamiento.	6 meses	Técnico Mecánico

(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja N° 6	
			Subsistema HIDRAULICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 7	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
6	A	2	S	N	N	S	S						Realizar una inspección del anillo perfilado de la válvula mariposa mediante un ultrasonido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo en caso de encontrar alguna anomalía.	2 años	Técnico Especializado
7	A	1	S	N	N	S	S						Realizar una inspección del engomado de la válvula antiretorno mediante un ultrasonido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo en caso de encontrar alguna anomalía.	2 años	Técnico de Mantenimiento
8	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Realizar el cambio de los anillos del pistón hidráulico en el circuito de potencia hidráulica. Comprobar su funcionamiento garantizando que la válvula abre.	5 años	Técnico Mecánico
8	A	2	S	N	N	S	S						Realizar un análisis de aceites al fluido hidráulico para determinar su estado o condición. Generar una orden de trabajo para realizar cambio de aceite al circuito hidráulico si este presenta alguna anomalía.	Anual	Contratista - Proveedor de Lubricantes y Aceites
8	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Realizar un procedimiento de mantenimiento estándar para garantizar que el sistema de potencia hidráulico en la válvula de control quede sin aire después de una intervención.		

(Continuación) Tabla 26. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Hidráulico




F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 7		
			Subsistema HIDRAULICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 7		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
9	A	1	S	N	N	S	S						Realizar una inspección del engomado del anillo perfilado de la válvula de control mediante un ultrasonido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo en caso de encontrar alguna anomalía.	2 años	Técnico Especializado
10	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar el tiempo de bajado del contrapeso de la válvula de control en su primera etapa. Ajustar la válvula reguladora de caudal 4.4 si este tiempo está mal ajustado.	Mensual	Operador
10	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar el tiempo de bajado del contrapeso de la válvula de control en su segunda etapa. Ajustar la válvula reguladora de caudal 4.5 si este tiempo está mal ajustado.	Mensual	Operador
11	A	1	S	N	N	S	S						Realizar una inspección del asiento de la válvula de compuerta mediante un ultrasonido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo en caso de encontrar alguna anomalía.	2 años	Técnico Especializado
11	A	2	S	N	N	S	N	S					Lubricar el vástago de la válvula de impulsión y luego verificar su funcionamiento garantizando que el vástago se deslice con facilidad.	2 años	Técnico Especializado
12	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia de la pintura luego del lavado y avisar si se ve desgastada.	Anual	Técnico Mecánico
12	A	2	S	N	N	S	S						Verificar la suciedad general de sistema, y preparar para lavar si es necesario.	3 meses	Técnico Mecánico


Tabla 27. Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM											REV.: 0	
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ						Hoja N° 1	
			Subsistema ELECTRICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO						De 6	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar los rodamientos del eje del motor para comprobar su desgaste, realizando un análisis de vibraciones. Generar una orden de trabajo para reemplazar el rodamiento si se detecta una vibración fuera de lo normal.	Anual	Técnico de Especializado
1	A	2											Se analiza por separado		
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Realizar un secado con aire comprimido de las partes internas del motor, buscando eliminar humedad en el estator o rotor que pueda deteriorar el aislamiento eléctrico.	Anual	Técnico Electricista
1	A	4	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de sobrecarga realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayos a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de sobrecarga.	5 años	Técnico Electricista
1	A	5	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de corto circuito realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayos a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de sobrecarga.	5 años	Técnico Electricista
1	A	6	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de falla a tierra realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayos a los 500 micro-ohm reemplazar el interruptor de sobrecarga	5 años	Técnico Electricista


(Continuación) Tabla 27.Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 – Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 2		
			Subsistema ELECTRICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 6		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	7	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor de secuencia negativa realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayor a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de sobrecarga.	5 años	Técnico Electricista
1	A	8	S	N	N	S	S						Verificar la condición del interruptor diferencial realizando una evaluación de resistencia al contacto. Si la resistencia es mayor a los 500 micro-ohms reemplazar el interruptor de sobrecarga.	5 años	Técnico Electricista
1	A	9											Se analiza por separado.		
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar no quede ningún objeto extraño dentro del motor después de una intervención.		
1	A	11	S	N	N	S	S						Verificar la relación corriente/resistencia de los bornes de conexión mediante un análisis de Termografía infrarroja. Generar una orden de trabajo si se observa alguna anomalía por temperatura.	6 meses	Técnico de Especializado
1	A	12	S	N	N	S	S						Verificar la relación corriente/resistencia de los bornes de conexión mediante un análisis de Termografía infrarroja. Generar una orden de trabajo si se observa alguna anomalía por temperatura.	6 meses	Técnico de Especializado


(Continuación) Tabla 27.Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 3		
			Subsistema ELECTRICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 6		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	13	S	N	N	S	S						Verificar la resistencia de aislamiento de los devanados, mediante una prueba de resistencia de devanados, si el error es mayor al 3% del valor normal, generar una orden de trabajo para repararlo.	3 años	Técnico de Especializado
1	A	14	S	N	N	S	S						Verificar la resistencia de aislamiento del estator con respecto a tierra realizando una prueba de Meggers, en el motor. Si la resistencia de aislamiento tiene un error de 3%, generar una orden de trabajo para repararlo.	3 años	Técnico de Especializado
1	A	15	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la carcasa y ventilador del motor, buscando suciedad presente en los canales de ventilación de la carcasa. Si se detecta, generar una orden de trabajo para su respectiva limpieza.	Semanal	Operador
1	A	16											Se analiza por separado.		
1	A	17	S	N	N	S	S						Verificar el estado de los devanados del motor realizando un análisis del circuito del motor, buscando pérdidas de cobre o cables rotos por deterioro. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	2 años	Técnico de Especializado
1	A	18	S	N	N	S	S						Verificar el estado del ventilador de motor, comprobando su funcionamiento y observando que no esté deteriorado o partido. Generar una orden de trabajo para reemplazarlo si es anormal su funcionamiento	Anual	Técnico Electricista

(Continuación) Tabla 27.Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 4		
			Subsistema ELECTRICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 6		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
1	A	19	S	N	N	S	S						Verificar el estado del rotor mediante un análisis de las curvas de potencia características del motor. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	Anual	Técnico de Especializado
1	A	20	S	N	N	S	N	S					Realizar una limpieza en el ventilador, despejando las aspas y dejándolo libre de cualquier masa que pueda generar desbalanceo.	6 meses	Técnico Electricista
1	A	21	S	N	N	S	S						Inspeccionar la alineación del eje del motor realizando un análisis de vibraciones. Generar una orden de trabajo para corregir la alineación si se detecta una vibración fuera de lo normal.	Anual	Técnico de Especializado
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado - Desarrollar un procedimiento de mantenimiento estándar para asegurar la correcta conexión del motor después de una intervención.		
1	B	2	S	N	N	S	S						Verificar el estado del rotor mediante un análisis de las curvas de potencia características del motor. Si se detecta alguna anomalía, generar una orden de trabajo para repararla.	Anual	Técnico de Especializado
1	B	3	S	N	N	S	S						Verificar el ajuste de los tornillos de la base del motor, si se encuentra algún tipo de desajuste, aplicar el respectivo torque.	Mensual	Operador

(Continuación) Tabla 27.Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0			
			Sistema					Facilitador					Hoja N°			
			UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					5			
			Subsistema					Auditor					De			
			ELECTRICO					Ing. JOLMAN LOZANO PICO					6			
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
N1	N2	N3														
2	A	1	S	N	N	S	S							Verificar el ajuste de los tornillos de la carcasa del motor, si se encuentra algún tipo de desajuste, aplicar el respectivo torque.	Mensual	Operador
3	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección de sobrecarga. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista
4	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección de corto circuito instantánea. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista
5	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección de corto circuito temporizada. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista
6	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección diferencial. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista
7	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección de secuencia negativa. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista
8	A	1	N				N	N	N	S				Probar el funcionamiento de la protección de falla a tierra instantánea. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla.	6 meses	Técnico Electricista

(Continuación) Tabla 27.Hoja de Decisión – Unidad de Bombeo N° 1 - Eléctrico

F MM 706 - 021			COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO HOJA DE DECISION RCM										REV.: 0		
			Sistema UNIDAD DE BOMBEO N° 1					Facilitador Ing. RICARDO PULIDO RAMIREZ					Hoja N° 6		
			Subsistema ELECTRICO					Auditor Ing. JOLMAN LOZANO PICO					De 6		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a Falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	H6			
9	A	1	N				N	N	N	S			Probar el funcionamiento de la protección de falla a tierra temporizada. Verificar que se active, de lo contrario generar una orden de trabajo para reemplazarla	6 meses	Técnico Electricista
10	A	1	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza en los tubos del intercambiador de calor, que el agua de refrigeración fluya libremente sin ninguna obstrucción.	6 meses	Técnico Mecánico
10	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar si hay corrosión en la tubería del intercambiador de calor de agua, si se encuentra puntos de corrosión, programar para cambio.	Anual	Técnico Mecánico
11	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia de la pintura luego del la limpieza y avisar si se ve desgastado.	Anual	Técnico Electricista
11	A	2	S	N	N	S	S						Verificar la suciedad general del sistema y preparar para limpieza si es necesario.	3 meses	Técnico Electricista

## **5. ANALISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO**

Una de las maneras para poder medir la eficiencia del mantenimiento, es la evaluación de los costos del mismo. Esto dice que tan bien el mantenimiento está utilizando los recursos a su disposición. En general se puede decir que los costos directos del mantenimiento se basan básicamente en tres aspectos:

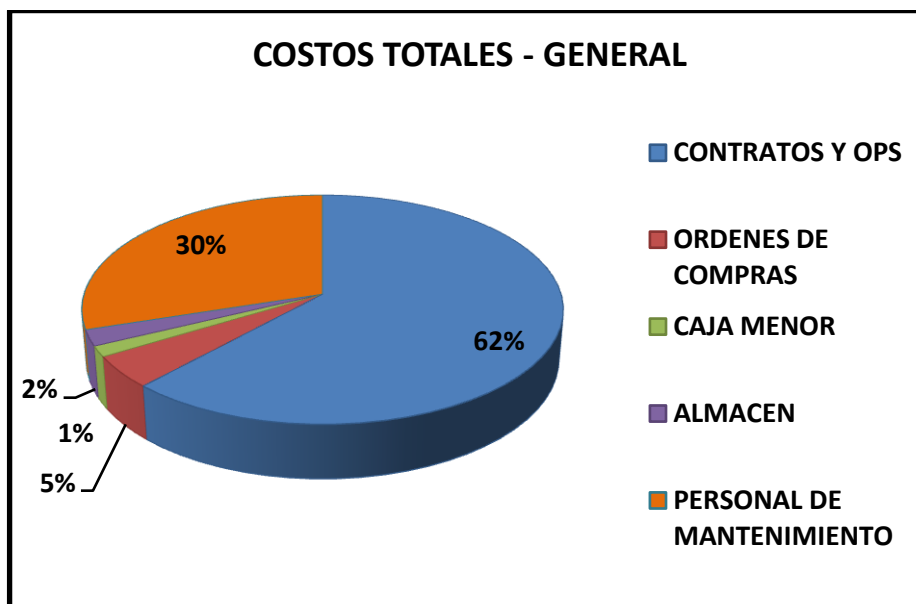
- Mano de obra interna, conformada por el personal técnico de mantenimiento
- Materiales empleados en la ejecución del mantenimiento
- Contratistas encargados de realizar labores externas especializadas

Estos costos van a ser evaluados desde el punto de vista productivo, como costos de mantenimiento por unidad de producción en un año, que para el caso del A.M.B. S.A. E.S.P., será la producción anual de agua potable disponible para la ciudad.

### **5.1. ANALISIS DE COSTOS DEL PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN EL A.M.B. S.A. E.S.P.**

Siguiendo lo anteriormente expuesto se realizó un análisis de costos del mantenimiento en el A.M.B. S.A. E.S.P. Los materiales se ven representados en órdenes de compras, caja menor y almacén. Por otro lado la mano de obra es realizada por el personal de mantenimiento de la empresa y por último se encuentran el costo de contratos y ordenes de prestación de servicios (OPS). Estos costos se pueden observar en la figura 94 y en la tabla 24. Esto deja ver claramente la importancia que tiene los contratistas en el programa de mantenimiento de la empresa, seguido de la mano de obra.

Figura 94. Costos Generales Totales de Mantenimiento



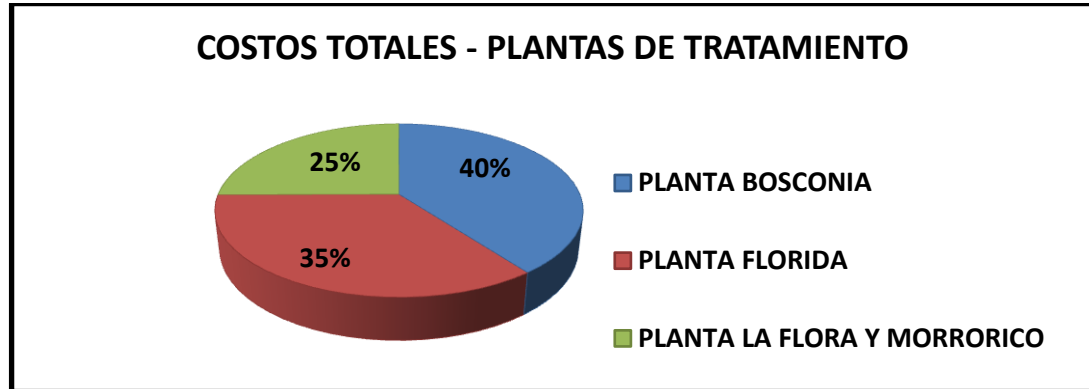
Fuente: El Autor

Tabla 28. Costos Generales Totales de Mantenimiento

COSTOS GENERALES	
CONTRATOS Y OPS	\$ 896.321.940
ORDENES DE COMPRAS	\$ 65.387.944
CAJA MENOR	\$ 21.707.450
ALMACEN	\$ 32.526.266
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 433.507.226
<b>COSTOS TOTALES DE COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO</b>	<b>\$ 1.449.450.826</b>

En las plantas de tratamiento, la planta más significativa en cuanto a costos de mantenimiento, es la planta de Bosconia, ya que en ella se encuentra una mayor cantidad de equipos, con una mayor complejidad, además a diferencia de las otras plantas, es la única que cuenta con sistema de bombeo. En la figura 95 y en la tabla 25 se pueden observar estos resultados. Mientras que en la figura 96 y la tabla 26 se encuentran especificados los costos por zonas en la prevalecen las plantas de tratamiento.

Figura 95. Costos de Mantenimiento en las Plantas de Tratamiento

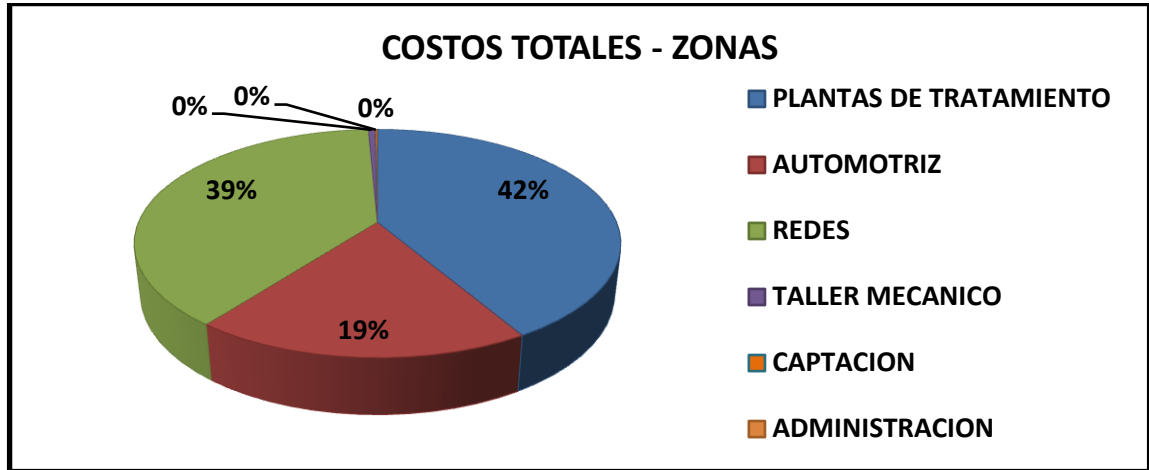


Fuente: El Autor

Tabla 29. Costos de Mantenimiento en las Plantas de Tratamiento

PLANTAS DE TRATAMIENTO	
<b>PLANTA BOSCONIA</b>	
CONTRATOS Y OPS	\$ 134.662.281
ORDENES DE COMPRAS	\$ 6.434.841
CAJA MENOR	\$ 1.579.012
ALMACEN	\$ 6.013.680
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 90.042.670
<b>SUBTOTAL PLANTA BOSCONIA</b>	<b>\$ 238.732.484</b>
<b>PLANTA FLORIDA</b>	
CONTRATOS Y OPS	\$ 141.892.046
ORDENES DE COMPRAS	\$ 7.358.201
CAJA MENOR	\$ 205.820
ALMACEN	\$ 1.067.940
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 61.569.077
<b>SUBTOTAL PLANTA FLORIDA</b>	<b>\$ 212.093.084</b>
<b>PLANTA LA FLORA Y MORRORICO</b>	
CONTRATOS Y OPS	\$ 42.352.204
ORDENES DE COMPRAS	\$ 8.108.521
CAJA MENOR	\$ 2.284.115
ALMACEN	\$ 892.919
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 97.358.914
<b>SUBTOTAL PLANTA LA FLORA Y MORRORICO</b>	<b>\$ 150.996.673</b>
<b>SUBTOTAL PLANTAS DE TRATAMIENTO</b>	<b>\$ 601.822.240</b>

Figura 96. Costos de Mantenimiento por zonas



Fuente: El Autor

Tabla 30. Costos de Mantenimiento por zonas

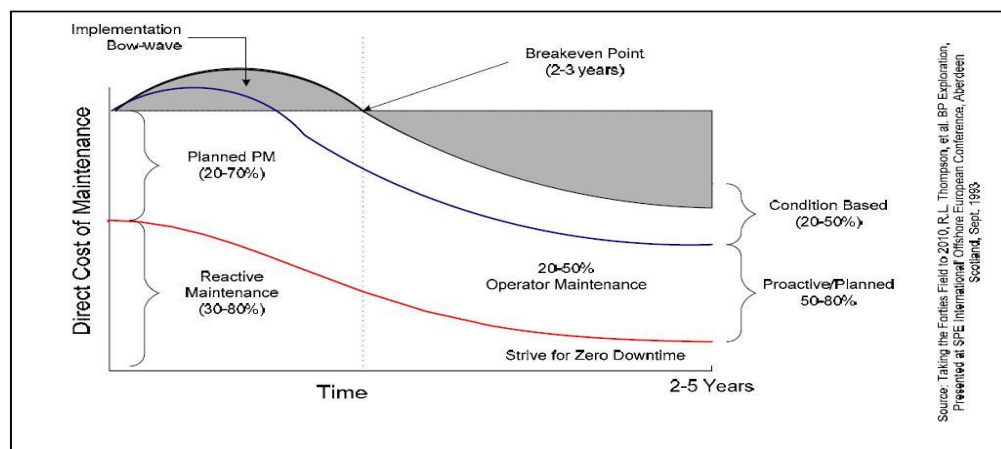
<b>AUTOMOTRIZ</b>	
CONTRATOS Y OPS	\$ 156.949.486
ORDENES DE COMPRAS	\$ 12.635.022
CAJA MENOR	\$ 11.064.935
ALMACEN	\$ 10.513.483
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 83.027.144
<b>SUBTOTAL AUTOMOTRIZ</b>	<b>\$ 274.190.070</b>
<b>REDES</b>	
CONTRATOS Y OPS	\$ 420.465.923
ORDENES DE COMPRAS	\$ 30.851.359
CAJA MENOR	\$ 1.987.963
ALMACEN	\$ 8.121.074
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	\$ 101.509.421
<b>SUBTOTAL REDES</b>	<b>\$ 562.935.740</b>
<b>TALLER MECANICO</b>	
CAJA MENOR	\$ 3.158.488
ALMACEN	\$ 4.359.317
<b>SUBTOTAL TALLER MECANICO</b>	<b>\$ 7.517.805</b>
<b>CAPTACION</b>	
CAJA MENOR	\$ 678.028
ALMACEN	\$ 1.162.320
<b>SUBTOTAL CAPTACION</b>	<b>\$ 1.840.348</b>
<b>ADMINISTRACION</b>	
CAJA MENOR	\$ 749.089
ALMACEN	\$ 395.534
<b>SUBTOTAL ADMINISTRACION</b>	<b>\$ 1.144.623</b>

Para el caso de la planta de tratamiento Bosconia, en el año 2009, se suministro un total de 12.555.446 m<sup>3</sup> de agua a la ciudad y su área metropolitana, con un costo total de mantenimiento de \$ 238.732.484. Esto nos da un costo de mantenimiento por unidad de producción de aproximadamente \$ 19. Teniendo en cuenta que el costo de producir 1 m<sup>3</sup> de agua potable en la planta de Bosconia es en promedio \$160 para el año 2009, los costos de mantenimiento representan alrededor de un 12% de los costos de producción total.

## 5.2. MEDICION COSTO - BENEFICIO PARA LA IMPLEMENTACION DE RCM

Debido a la inversión inicial necesaria para la obtención de las herramientas tecnológicas, capacitación y equipos de mantenimiento predictivo o basado en condición, un nuevo programa de RCM típicamente resulta en un aumento en los costos de mantenimiento. Este aumento es relativamente de corto plazo, un promedio de dos a tres años<sup>9</sup>.

Figura 97. Costos de mantenimiento RCM



Fuente: NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008.

<sup>9</sup> NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008. P 472

El costo de la reparación de fallos disminuye a medida que se previenen. El efecto neto es una reducción tanto de la reparación y los costos totales de mantenimiento. El Retorno de la Inversión experimentado por varias empresas, como la NASA, British Petroleum y el Electric Power Research Institute ha demostrado tener este tipo de comportamiento<sup>10</sup>. En la tabla 27 se muestran diferentes técnicas de monitoreo a condición con valores aproximados de equipos y tecnología.

Tabla 31. Costos de equipos de mantenimiento predictivo

<b>VIBRACIONES</b>	
<b>SISTEMA DE BANDA ESTRECHA CON SOFTWARE Y CAPACITACION</b>	ENTRE \$5,000,000 Y \$100,000,000
<b>SISTEMAS MULTICANAL</b>	APROXIMADAMENTE DESDE \$2,000,000 POR CADA SENSOR INSTALADO
<b>ANALIZADORES PORTATILES</b>	ENTRE \$5,000,000 Y \$70,000,000
<b>TERMOGRAFIA</b>	
<b>ESCANER INFRARROJO</b>	ENTRE \$500,000 Y \$100,000,000
<b>ULTRASONIDO</b>	
<b>ESCANERES ACUSTICOS</b>	ENTRE \$1,000,000 Y \$200,000,000
<b>EQUIPO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO</b>	ENTRE \$5,000,000 Y \$200,000,000
<b>MONITOREO ELECTRICO</b>	
<b>MULTIMETRO</b>	DESDE \$40,000
<b>MONITOREO EN LINEA, ANALISIS DE CIRCUITO DE MOTOR</b>	HASTA \$160,000,000

<sup>10</sup> Ibib p191

En cuanto al análisis de lubricantes se pueden encontrar numerosas técnicas dependiendo del análisis y el propósito necesario en cada organización. En la tabla 28 se pueden observar diferentes costos de análisis de lubricantes según la técnica.

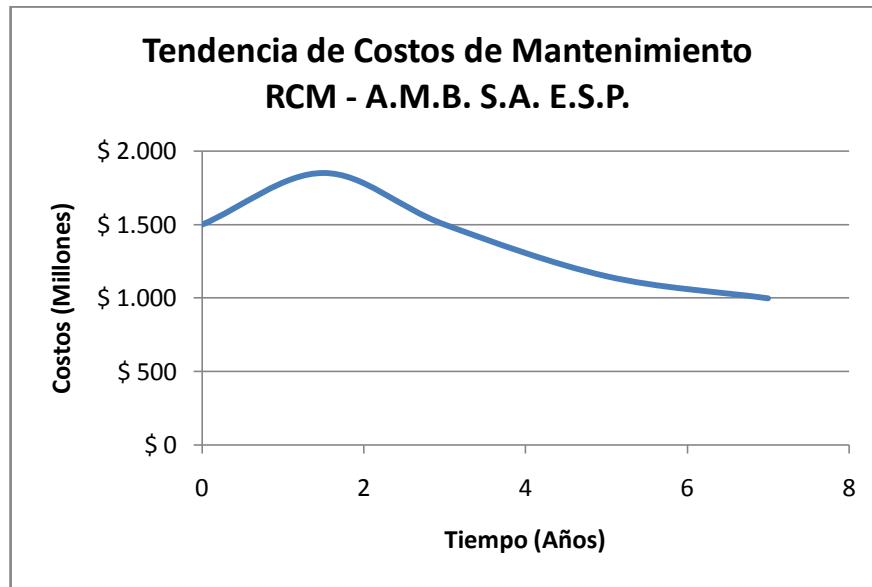
Tabla 32. Costos de análisis de lubricantes

COSTOS POR MUESTRA		TECNICAS
<b>BAJO</b>	INFERIOR A \$30000	INSPECCION VISUAL Y OLFATIVA
		PORCENTAJE DE SOLIDOS Y AGUA
		VISCOSIDAD
		ESPECTROCOPIA INFRARROJA
		GLICOL ANTICONGELANTE
<b>MODERADO</b>	ENTRE \$30,000 Y \$100,000	ESPECTROMETRIA DE METALES
		CONTEO DE PARTICULAS (ELECTRONICO)
		FERROGRAFIA DE LECTURA DIRECTA
		NÚMERO TOTAL DE ÁCIDO (TAN)
		NÚMERO TOTAL DE BASE (TBN)
<b>MODERADAMENTE ALTO</b>	ENTRE \$100,000 Y \$200,000	ANALISIS DE AGUA SEGÚN KARL FISCHER
		ANALISIS DE FERROGRAFIA
		CONTEO DE PARTICULAS (VISUAL)
<b>ALTO</b>	MAYOR A \$200,000	PRUEBA DE FORMACION DE ESPUMA
		PRUEBA DE PREVENCIÓN DE CORROSIÓN
		PRUEBA DE ESTABILIDAD A LA OXIDACION

Teniendo en cuenta los anteriores valores, se realizó una estimación para la cual se tomó como base una inversión en equipos de \$350 millones. Hay que tener en cuenta que la reducción de los costos de mantenimiento tiene que ver básicamente en la reducción en contratos y ordenes de prestación de servicios (OPS), que generan el 62% de los costos totales de mantenimiento. Con esto se busca aprovechar más la mano de obra presente en el acueducto, ya que el personal técnico de mantenimiento es altamente capacitado, muchos de ellos, con estudios

varios de ellos con estudios a nivel de tecnología e ingeniería, lo cual hace mucho más fácil al implementación del mantenimiento basado en condición. Con esto se estima que los costos de contratación podrían reducirse entre un 50% y 70%.

Figura 98. Tendencias de los Costos de Mantenimiento



Fuente: El Autor

La relación costo beneficio está dada por la siguiente relación entre los valores de los ingresos y los egresos donde la inversión se mostraría atractiva si esta relación es mayor que 1.

$$B/C = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}} = \frac{VPI}{VPE} = \frac{VFI}{VFE}$$

Para los valores mostrados en la grafica tenemos una relación costo beneficio  $B/C = 1.43$ . Esto demuestra que es altamente beneficioso implementar un mantenimiento centrado en confiabilidad en la organización, ya que reducirá los costos de mantenimiento y aumentara la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente proyecto constituye la aplicación de la metodología del proceso de análisis RCM aplicado a los equipos de cloración y bombeo, identificados como críticos, en la Planta de Tratamiento Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., sirviendo así de plan piloto para poder implementar dicha metodología en la totalidad de activos dentro organización.
- Se aplico la metodología de análisis de modos de falla y efectos de la falla AMFE a los equipos seleccionados, mediante la ayuda metodología de la hoja de información RCM en la cual se puede visualizar fácilmente las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla recopilados para cada sistema.
- Tomando como metodología el árbol lógico de decisión del proceso RCM se evaluaron las consecuencias de cada modo de falla en la cual se determino cual sería la mejor manera de mitigar las consecuencias de cada falla arrojando como resultados tareas de mantenimiento a condición, tareas de mantenimiento preventivas, y otras actividades o recomendaciones, como procedimientos operacionales, labores de rediseño y tareas de búsqueda de fallas, todo esto redactándose metodológicamente en la hoja de decisión del proceso de análisis RCM y de esta manera hacer más proactivo al mantenimiento en la empresa.
- Se realizo un análisis de los costos de mantenimiento, con el fin de tener una base de comparación con la nueva metodología de mantenimiento propuesta y de esta manera se efectuó un estudio de costo-beneficio de la nueva estrategia

de mantenimiento teniendo en cuenta posibles tendencias de costos del mantenimiento en la organización, y demostrando lo beneficiosa que resulta la implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el A.M.B. S.A. E.S.P.

- Se recomienda seguir con el proceso de análisis de RCM, continuando como prioridad con los sistemas que contengan equipos críticos, seguidos de los menos críticos, abarcando así la totalidad de plantas y demás secciones de la empresa.
  
- Se recomienda realizar la implementación del mantenimiento basado en condición de manera interna, ya que se cuenta con una buena fuente humana, como lo es el personal técnico de mantenimiento, el cual está capacidad de afrontar esta nueva etapa.

## BIBLIOGRAFIA

**ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**, Descripción de la estación de bombeo Bosconia. Bucaramanga. 77 p.

-----, Manual de la planta de tratamiento Bosconia. Bucaramanga: 2008. 657 p.

**ARIZA RINCON, Albert Jair.** Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de minería a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura [pdf]. Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2008. 182 p.

**BOTERO BOTERO, Ernesto.** Mantenimiento Preventivo. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009. 157 p.

**ESTADOS UNIDOS, DEPARTAMENT OF DEFENSE.** Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis [pdf]. Washington DC: 1980. 80 p.

-----, **NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION.** Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment [pdf], 2008. 472 p.

**GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón.** Lecturas y diapositivas de la asignatura mantenimiento y montajes [diapositivas]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008.

**LEON GRACIA, Jorge Alexander.** Mantenimiento de Motores de Inducción [pdf]. Trabajo de Grado (Ingeniero Electricista). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2007. 158 p.

**MOUBRAY, John.** Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2 ed. Lutterworth: Aladon Ltd, 2004. 433 p.

**USCATEGUI ARENAS, Fabián Andrés y ARIZA CASTAÑEDA, Manuel Alexander.** Sistema de Gestión de Mantenimiento para el Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. [pdf]. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2005. 172 p.

## ANEXOS

## ANEXO A. CRITICIDAD DE EQUIPOS EN EL A.M.B S.A. E.S.P.

La criticidad se define como la incidencia que tiene cada equipo o maquina dentro de la operación de la empresa. Para el cálculo del índice de criticidad se toman diferentes criterios; a cada uno de estos se le asigna una calificación, con la cual se puede ubicar los equipos según su grado de influencia dentro del proceso y se determinó que equipos requerían un mantenimiento más prioritario. Los criterios para realizar este análisis de riesgos y para determinar el índice de criticidad en el A.M.B. S.A. E.S.P. son los siguientes:

Figura 99. Criterios del Análisis de Criticidad

<b>Criterio de la producción</b>	<b>Criterio de la calidad</b>	<b>Criterio del mantenimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa de utilización del equipo</li><li>• Existencia de un equipo auxiliar para sustituir el equipo averiado</li><li>• Repercusión del equipo en la cadena productiva</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pérdidas en la producción</li><li>• Repercusión del equipo en la seguridad industrial y medio ambiente</li><li>• Repercusión del equipo en la calidad del producto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa de marcha</li><li>• Grado de complejidad tecnológica del equipo</li></ul>

Los criterios, cada uno de los aspectos que se contempla en ellos y su cuantificación, se presentan a continuación:

Tabla 33. Criterio de Producción en el Índice de Criticidad

CRITERIO DE LA PRODUCCIÓN								
Tasa de utilización del equipo			Existencia de un equipo auxiliar para sustituir el equipo averiado			Repercusión del equipo en la cadena productiva		
<b>ALTO</b>	4	Superior al 80%	<b>ALTO</b>	5	Sin posibilidad	<b>ALTO</b>	5	Influencia total
<b>MEDIO</b>	2	Entre el 50 y el 80%	<b>MEDIO</b>	3	Posibilidad de acceder al stock	<b>MEDIO</b>	3	Influencia relativa
<b>BAJO</b>	1	Inferior al 50%	<b>BAJO</b>	1	Existencia del duplicado	<b>BAJO</b>	1	Influencia nula

Tabla 34. Criterio de Calidad en el Índice de Criticidad

CRITERIO DE LA CALIDAD								
Pérdidas en la producción			Repercusión del equipo en la seguridad y el medio ambiente			Repercusión del equipo en la calidad del producto		
<b>ALTO</b>	4	Mayor a \$15.000.000 (hora)	<b>ALTO</b>	5	Riesgo fatal	<b>ALTO</b>	5	Muy importante
<b>MEDIO</b>	2	Entre \$5.000.000 y \$15.000.000 (hora)	<b>MEDIO</b>	3	Riesgo relativo	<b>MEDIO</b>	3	Relativamente importante
<b>BAJO</b>	1	Menor a \$5.000.000 (hora)	<b>BAJO</b>	1	Sin riesgo	<b>BAJO</b>	1	Sin influencia

Tabla 35. Criterio de Mantenimiento en el Índice de Criticidad

CRITERIO DEL MANTENIMIENTO					
Tasa de marcha (funcionamiento)			Grado de complejidad tecnológica del equipo		
<b>ALTO</b>	4	En servicio todo el turno	<b>ALTO</b>	4	Sistemas electrónicos o computarizados de control
<b>MEDIO</b>	2	En servicio por lo menos una vez al día	<b>MEDIO</b>	2	Sistemas mecánicos de precisión y varios motores
<b>BAJO</b>	1	En servicio cada n días	<b>BAJO</b>	1	Mecánicamente simples sin ningún sistema de precisión

Tabla 36. Cálculo del Índice de Criticidad

Equipo		BOCL-T6		FLOCULADOR 6	
<b>Criterio de Producción</b>		<b>Criterio de Calidad</b>		<b>Criterio de Mantenimiento</b>	
Tasa de utilización del equipo	4	Pérdidas en la producción	4	Tasa de marcha (funcionamiento)	4
Existencia de un equipo auxiliar para sustituir el equipo averiado	1	Repercusión del equipo en la seguridad y el medio ambiente	3	Grado de complejidad tecnológica del equipo	2
Repercusión del equipo en la cadena productiva	5	Repercusión del equipo en la calidad del producto	5		
<b>Total (Calificación Máxima de 36)</b>				<b>28</b>	

Los equipos según su criticidad están clasificados en tres grupos:

- Índice mayor a 25 puntos: equipos críticos, para los cuales se dispondrá un plan programado de mantenimiento.
- Índice entre 15 y 25 puntos: equipos que en un determinado momento pueden llegar a ser críticos (importantes), los cuales se podrán someter a un mantenimiento correctivo.
- Índice menor a 15 puntos: equipos poco importantes en el proceso, que pueden ser sometidos a un mantenimiento correctivo.

En las siguientes tablas, se muestran cada equipo con el índice de criticidad calculado según criterios mencionados anteriormente para la planta de tratamiento Bosconia. Este índice de criticidad va a servir de base para saber cuáles son los equipos con prioridad para iniciar el análisis del proceso RCM.

Tabla 37. Índice de Criticidad en la Planta Bosconia - Tratamiento

PLANTA DE BOSCONIA. TRATAMIENTO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOCL-B1	BOMBA TRASVASE SULFATO	2	5	3	2	3	5	1	2	23
BOCL-C1	BOMBA PRESEDIMENTADORES	1	3	3	1	3	1	1	2	15
BOCL-C7	BOMBA SULFATO LIQUIDO 1	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-C8	BOMBA SULFATO LIQUIDO 2	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-C9	BOMBA SULFATO LIQUIDO 3	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-G1	HIDROLAVADORA	1	5	1	1	1	1	1	2	13
BOCL-G2	MOTOBOMBA DE LAVADO 1	2	1	3	1	5	3	2	2	19
BOCL-G3	MOTOBOMBA DE LAVADO 2	2	1	3	1	5	3	2	2	19
BOCL-J1	SECADOR DE AIRE 1	4	3	3	2	1	1	4	4	22
BOCL-J2	SECADOR DE AIRE 2	4	3	3	2	1	1	4	4	22
BOCL-K2	PLANTA ELECTRICA TRATAMIENTO	1	5	5	4	5	5	1	4	30
BOCL-R1	DOSIFICADOR DE SULFATO 1PORTERIA	1	1	1	1	3	3	1	2	13
BOCL-R'1	DOSIFICADOR DE CAL 1	2	1	3	4	3	5	2	2	22
BOCL-R2	DOSIFICADOR DE SULFATO 2 PORTERIA	2	1	1	1	3	3	1	2	14
BOCL-R'2	DOSIFICADOR DE CAL 2	2	1	3	4	3	5	2	2	22
BOCL-R3	DOSIFICADOR DE SULFATO 3 EDIFICIO	2	1	5	4	3	5	4	2	26
BOCL-R4	DOSIFICADOR DE SULFATO 4	2	1	3	4	3	5	2	2	22
BOCL-S1	MEZCLADOR DE SULFATO 1	1	1	5	2	5	5	1	2	22

PLANTA DE BOSCONIA. TRATAMIENTO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOCL-S1	MEZCLADOR DE CAL	2	5	3	4	3	5	2	2	26
BOCL-S2	MEZCLADOR DE SULFATO 2	1	1	5	2	5	5	1	2	22
BOCL-S3	MEZCLADOR DE SULFATO 3	1	1	5	2	5	5	1	2	22
BOCL-S4	MEZCLADOR DE SULFATO 4	1	1	5	2	5	5	1	2	22
BOCL-S5	MEZCLADOR DE SULFATO 5	1	1	5	2	5	5	1	2	22
BOCL-S6	MEZCLADOR DE SULFATO 6	1	1	5	2	5	5	1	2	22
BOCL-S7	MEZCLADOR DE SULFATO 7	2	5	3	1	1	3	1	2	18
BOCL-T1	FLOCULADOR 1	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T10	FLOCULADOR 10	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T11	FLOCULADOR 11	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T12	FLOCULADOR 12	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T13	FLOCULADOR 13	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T14	FLOCULADOR 14	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T15	FLOCULADOR 15	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T16	FLOCULADOR 16	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T2	FLOCULADOR 2	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T3	FLOCULADOR 3	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T4	FLOCULADOR 4	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T5	FLOCULADOR 5	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T6	FLOCULADOR 6	4	1	5	4	3	5	4	2	28

PLANTA DE BOSCONIA. TRATAMIENTO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOCL-T7	FLOCULADOR 7	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T8	FLOCULADOR 8	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-T9	FLOCULADOR 9	4	1	5	4	3	5	4	2	28
BOCL-Y1	MONTACARGA DE SULFATO	2	5	1	2	3	1	2	2	18
BOCL-Y2	MONTACARGA DE CAL	2	5	1	2	3	1	2	2	18
BOCL-Z1	COMPRESOR 1	4	1	3	2	5	3	4	2	24
BOCL-Z1	BANDA TRANSPORTADORA	1	5	1	1	1	1	1	2	13
BOCL-Z2	COMPRESOR 2	4	1	3	2	5	3	4	2	24
BOCT-A1	COMPUERTA DE CAPTACION 1	2	1	5	1	5	5	1	2	22
BOCT-A2	COMPUERTA DE CAPTACION 2	2	1	5	1	5	5	1	2	22
BOCT-A3	COMPUERTA DE CAPTACION 3	2	1	5	1	5	5	1	2	22
BOCT-K1	PLANTA ELECTRICA CAPTACION	1	5	1	1	3	3	1	2	17
BODF-C1'	BOMBA CLORACION 1	2	1	3	4	3	5	4	2	24
BODF-C2'	BOMBA CLORACION 2	2	1	3	4	3	5	4	2	24
BODF-C3'	BOMBA SUMINISTRO 1	4	1	3	1	3	3	4	2	21
BODF-C4'	BOMBA SUMINISTRO 2	4	1	3	1	3	3	4	2	21
BODF-C5'	BOMBA LAVADO	2	5	3	2	3	3	2	2	22
BODF-E1	EXTRACTOR CLORACION	2	5	3	1	5	3	1	1	21
BODF-X1	CLORADOR 1	4	1	5	4	5	5	4	2	30
BODF-X2	CLORADOR 2	4	1	5	4	5	5	4	2	30

<b>PLANTA DE BOSCONIA. TRATAMIENTO</b>										
<b>CODIGO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>			<b>CALIDAD</b>			<b>MANTENIMIENTO</b>		<b>CRITICIDAD</b>
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BODF-X3	CLORADOR 3	4	1	5	4	5	5	4	2	30
BODF-X4	CLORADOR 4	4	1	5	4	5	5	4	2	30
BODF-Y1	POLIPASTO CLORO 1	2	5	3	1	5	3	1	2	22
BODF-Y2	POLIPASTO CLORO 2	2	1	1	1	5	1	1	1	13
BO-SE	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	2	5	3	2	3	3	4	2	24
BO-TC	TABLERO CONTROL COMPUERTAS	2	3	3	1	5	1	1	2	18
BO-TSE	TABLERO DE SUBESTACIÓN QUÍMICOS	4	5	5	4	3	5	4	4	34
EPBM-01	BOMBA NO. 2 EL PABLON	4	1	3	2	3	3	2	2	20
EPBM-02	BOMBA NO. 1 EL PABLON	4	1	3	2	3	3	2	2	20

Tabla 38. Índice de Criticidad en la Planta Bosconia – Estación de Bombeo

PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOBM - M1	MOTOR UNIDAD N° 1	4	1	3	2	5	5	2	4	26
BOBM - M2	MOTOR UNIDAD N° 2	4	1	3	2	5	5	2	4	26
BOBM - M3	MOTOR UNIDAD N° 3	4	1	3	2	5	5	2	4	26
BOBM - M4	MOTOR UNIDAD N° 4	4	1	3	2	5	5	2	4	26
BOBM-AT1	ACTUADOR ELEC. TANQUE NO. 1	1	5	3	2	3	3	2	2	21
BOBM-AT2	ACTUADOR ELEC. TANQUE NO. 2	1	5	3	2	3	3	2	2	21
BOBM-C12	BOMBA REFRIGERACION 1	4	1	3	4	3	3	4	2	24
BOBM-C125KVAR	BANCO DE CONDENSADORES GRAL.	4	3	1	1	3	1	2	2	17
BOBM-C13	BOMBA REFRIGERACION 2	4	1	3	4	3	3	4	2	24
BOBM-D1	BOMBA PRINCIPAL 1	4	1	3	4	3	5	2	4	26
BOBM-D2	BOMBA PRINCIPAL 2	4	1	3	4	3	5	2	4	26
BOBM-D3	BOMBA PRINCIPAL 3	4	1	3	4	3	5	2	4	26
BOBM-D4	BOMBA PRINCIPAL 4	4	1	3	4	3	5	2	4	26
BOBM-D5	BOMBA PRELLENADO	1	5	3	4	3	5	1	4	26
BOBM-EM01	INTERRUPTOR U. LLENADO	1	3	3	1	5	1	1	2	17
BOBM-EM02	INTERRUPTOR UNIDAD 3. CARRO C	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM03	INTERRUPTOR UNIDAD 3. CARRO A	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM04	INTERRUPTOR UNIDAD 3. CARRO B	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM05	INTERRUPTOR TRANSF. AUXILIAR 2	4	3	3	2	5	1	2	4	24
BOBM-EM06	INTERRUPTOR CAPACITORES	4	3	1	1	1	3	2	1	16

PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOBM-EM09	INTERRUPTOR ACOPLA	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM10	CELDAS DE PT'S 2	4	1	3	2	3	3	4	2	22
BOBM-EM11	INTERRUPTOR ACOMETIDA 1	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM12	INTERRUPTOR ALIMENTADOR 1	4	3	1	1	1	3	2	1	16
BOBM-EM13	INTERRUPTOR TRANSF. AUXILIAR 1	4	3	3	2	5	1	2	4	24
BOBM-EM14	INTERRUPTOR UNIDAD 2. CARRO C	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM15	INTERRUPTOR UNIDAD 2. CARRO A	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM16	INTERRUPTOR UNIDAD 2. CARRO B	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM17	INTERRUPTOR UNIDAD 1. CARRO C	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM18	INTERRUPTOR UNIDAD 1. CARRO A	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM19	INTERRUPTOR UNIDAD 1. CARRO B	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM20	INTERRUPTOR UNIDAD 4. CARRO C	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM21	INTERRUPTOR UNIDAD 4. CARRO A	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM22	INTERRUPTOR UNIDAD 4. CARRO B	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM7	INTERRUPTOR ACOMETIDA 2	2	3	3	2	3	1	1	1	16
BOBM-EM8	CELDAS DE PT'S 1	4	1	3	2	3	3	4	2	22
BOBM-INT1	INTERCAMBIADOR DE CALOR NO. 1	2	5	3	2	3	3	2	1	21
BOBM-INT2	INTERCAMBIADOR DE CALOR NO. 2	2	5	3	2	3	3	2	1	21
BOBM-INT3	INTERCAMBIADOR DE CALOR NO. 3	2	5	3	2	3	3	2	1	21
BOBM-INT4	INTERCAMBIADOR DE CALOR NO. 4	2	5	3	2	3	3	2	1	21
BOBM-K3	PLANTA ELECTRICA BOMBEO	1	5	3	1	3	1	1	2	17

PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOBM-M5	MOTOR UNIDAD LLENADO	4	1	3	2	5	5	2	2	24
BOBM-MCC1	CENTRO CONTROL DE MOTORES 1	4	1	2	2	1	3	2	1	16
BOBM-MCC2	CENTRO CONTROL DE MOTORES 2	4	1	2	2	1	3	2	1	16
BOBM-MCC3	CENTRO CONTROL DE MOTORES 3	4	1	2	2	1	3	2	1	16
BOBM-MCC4	CENTRO CONTROL DE MOTORES 4	4	1	2	2	1	3	2	1	16
BOBM-MONYCON	SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	4	5	5	2	3	5	4	4	32
BOBM-PE	PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA	1	5	1	1	3	3	1	4	19
BOBM-TAUX1	TRANSF. SERVICIOS AUXILIARES 1	4	1	3	4	3	3	4	2	24
BOBM-TAUX2	TRANSF. SERVICIOS AUXILIARES 2	4	1	3	4	3	3	4	2	24
BOBM-Z'1	PUENTE GRUA	4	5	3	1	5	1	2	2	23
BOBM-Z3	COMPRESOR 3	4	1	1	4	5	5	4	2	26
BOBM-Z4	COMPRESOR 4	4	1	1	4	5	5	4	2	26
BOBM-Z5	COMPRESOR 5	4	1	1	4	5	5	4	2	26
BOMB-AP	ALUMBRADO PÚBLICO	4	3	3	2	3	1	4	1	21
BOMB-BATC	BATERÍAS ESTACIONARIAS	4	3	5	4	3	3	4	1	27
BOMB-CARB1	CARGADOR BATERÍAS 1	4	3	3	1	3	3	4	4	25
BOMB-CARB2	CARGADOR BATERÍAS 2	4	3	3	1	3	3	4	4	25
BOMB-CL1	CENTRAL LUBRICACIÓN 1	4	1	5	2	3	5	1	2	23
BOMB-CL2	CENTRAL LUBRICACIÓN 2	4	1	5	2	3	5	1	2	23
BOMB-CL3	CENTRAL LUBRICACIÓN 3	4	1	5	2	5	3	1	2	23
BOMB-CL4	CENTRAL LUBRICACIÓN 4	4	1	5	2	5	3	1	2	23

PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO										
CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
BOMB-IN	INSTALACIONES INTERNAS	4	3	3	2	3	1	4	1	21
BOMB-TLU1	TABLERO LOCAL UNIDAD 1	1	3	3	1	1	1	1	2	13
BOMB-TLU2	TABLERO LOCAL UNIDAD 2	1	3	3	1	1	1	1	2	13
BOMB-TLU3	TABLERO LOCAL UNIDAD 3	1	3	3	1	1	1	1	2	13
BOMB-TLU4	TABLERO LOCAL UNIDAD 4	1	3	3	1	1	1	1	2	13
BOMB-TLULL	TABLERO LOCAL UNIDAD LLENADO	2	3	1	2	1	1	1	2	13
SE-AUTO1	AUTOTRANSFORMADOR 1	1	1	5	4	5	5	1	2	24
SE-AUTO2	AUTOTRANSFORMADOR 2	1	1	5	4	5	5	1	2	24
SE-AUTO3	AUTOTRANSFORMADOR 3	1	1	5	4	5	5	1	2	24
SE-AUTO4	AUTOTRANSFORMADOR 4	1	1	5	4	5	5	1	2	24
SE-AUTO5	AUTOTRANSFORMADOR EN STOCK	1	1	5	4	5	5	1	2	24
SE-CT1	TRANSF. CORRIENTE 1	4	1	3	4	5	5	4	4	30
SE-CT2	TRANSF. CORRIENTE 2	4	1	3	4	5	5	4	4	30
SE-MALLA	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	4	5	5	4	5	5	4	2	34
SE-PARL	PARARAYOS DE 115 KV	4	3	5	4	3	3	4	4	30
SE-PATIO	BARRAJES Y PATIO DE S/E KV	4	5	5	4	5	5	4	1	33
SE-PT	TRANSF. POTENCIAL S/E	4	5	3	4	5	5	4	4	34
SE-SECC1	SECCIONADOR TRAF0 1	4	1	3	2	3	3	4	4	24
SE-SECC2	SECCIONADOR TRAF0 2	4	1	3	4	3	3	4	4	26
SE-SECCL	SECCIONADOR LÍNEA	4	5	5	4	5	5	4	4	36
SE-SF61	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 1	4	1	5	4	5	5	4	4	32

**PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO**

CODIGO	EQUIPO	PRODUCCIÓN			CALIDAD			MANTENIMIENTO		CRITICIDAD
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
SE-SF62	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 2	4	1	5	4	5	5	4	4	32
SE-TP1	Transformador de Potencia 1	4	1	5	4	5	5	4	4	32
SE-TP2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 2	4	1	5	4	5	5	4	4	32
TC-COMPRESORES	TABLERO COMPRESORES	2	3	1	2	1	1	4	2	16
TCRE	TABLERO CENTRAL DE REFRI.	2	3	3	2	3	1	1	1	16
TCSU	TABLERO CONTROL SUBESTACIÓN	4	3	3	2	3	3	4	4	26
TCSU1	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 1	4	3	3	2	3	3	4	4	26
TCSU2	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 2	4	3	3	2	3	3	4	4	26
TS-01-UNIDAD1	TABLERO CONTROL UNIDAD N° 1	4	3	1	2	1	1	1	3	16
TS-01-UNIDAD2	TABLERO CONTROL UNIDAD N° 2	4	3	1	2	1	1	1	3	16
TS-01-UNIDAD3	TABLERO CONTROL UNIDAD N° 3	4	3	1	2	1	1	1	3	16
TS-01-UNIDAD4	TABLERO CONTROL UNIDAD N° 4	4	3	1	2	1	1	1	3	16
TS03-TAUX1	TABLERO AUXILIARES 1	4	3	3	2	1	1	4	3	21
TS03-TAUX2	TABLERO AUXILIARES 2	4	3	3	2	1	1	4	3	21
TS04-AL1	TABLERO ALIMENTACIÓN 1	4	3	3	1	1	1	4	4	21
TS05-ACOMETIDA1	TABLERO ACOMETIDA 1	4	3	3	2	1	1	4	3	21
TS05-ACOMETIDA2	TABLERO ACOMETIDA 2	4	3	3	2	1	1	4	3	21
TS06-ACOPLE	TABLERO DE ACOPLES	3	3	1	2	1	1	4	1	16
TS08-CAPACITORES	TABLERO BANCO CONDENSADORES	4	3	1	1	3	1	2	1	16
TS11-ULL	TABLERO UNIDAD DE LLENADO	1	3	3	1	1	1	1	2	13
TS12-PANEL	TABLERO PANEL DE ALARMAS	4	3	1	1	1	1	2	4	17

<b>PLANTA BOSCONIA - ESTACION DE BOMBEO</b>										
<b>CODIGO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>			<b>CALIDAD</b>			<b>MANTENIMIENTO</b>		<b>CRITICIDAD</b>
		UTILIZACION DEL EQUIPO	EXISTENCIA DE EQUIPO AUXILIAR	REPERCUSION EN CADENA PRODUCTIVA	PERDIDAS EN PRODUCCION	REPERCUSION EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	REPERCUSION EN LA CALIDAD	TASA DE MARCHA	GRADO DE COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	
TS13-LOGICA	TABLERO LÓGICA PROGRAMABLE	1	3	1	1	3	1	1	4	15
TSG-SERVICIOS	TABLERO SERVICIOS GENERALES	4	3	1	2	3	3	2	4	22
TVC1	VALVULA DE PESA 1	2	3	3	2	3	1	1	1	16
TVC2	VALVULA DE PESA 2	2	3	3	2	3	1	1	1	16
TVC3	VALVULA DE PESA 3	2	3	3	2	3	1	1	1	16
TVC4	VALVULA DE PESA 4	2	3	3	2	3	1	1	1	16

