



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA**

**“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE GRADO**

**DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL  
A LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES**

**Tutor Industrial:** Ing. Lionelo Espina

**Autor:** Br. Andrea Martínez

**Tutor Académico:** Ing. Andrés E. Blanco

**CIUDAD GUAYANA, OCTUBRE DE 2012**

**DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL  
A LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA**

**“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE GRADO**

**DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL  
A LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES.**

Trabajo de grado que se presenta ante el  
Departamento de Ingeniería Industrial de la  
UNEXPO Vicerrectorado de Puerto Ordaz como  
requisito para optar al Título de Ingeniero  
Industrial

Autor: Br. Andrea Martínez

---

Ing. Andrés Eloy Blanco

**Tutor Académico**

---

Ing. Lionelo Espina

**Tutor Industrial**

**CIUDAD GUAYANA, OCTUBRE DE 2012**

Martínez M. Andrea P.

SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES

Informe de Entrenamiento Industrial-Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica

“Antonio José De Sucre”

Vicerrectorado de Puerto Ordaz

Departamento de Ingeniería Industrial

Tutor Académico: MSc. Andrés Blanco

Tutor Industrial: Ing. Lionelo Espina

Ciudad Guayana, Octubre 2012

Capítulos: I El Problema, II Generalidades de la Empresa, III Marco Teórico, IV Marco Metodológico, V Situación Actual, VI Resultados.

**Universidad Nacional Experimental Politécnica**

**“Antonio José de Sucre”.**

**Vice-Rectorado de Puerto Ordaz.**

**Departamento de Ingeniería Industrial.**

**Trabajo de Grado**

**Acta de Evaluación**

Quienes suscriben, miembros del jurado Evaluador designados por el Comité de Trabajo de Grado del Departamento de Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Vicerrectorado Puerto Ordaz, para evaluar el Trabajo del Grado presentado por la ciudadana **ANDREA PATRICIA MARTÍNEZ MONCADA**, portadora de la Cedula de Identidad N° **V-18728455**, titulado: **SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES.**

para optar al título **de INGENIERO INDUSTRIAL**, consideramos que este con los requisitos exigidos para tal efecto y por lo tanto lo declaramos **APROBADO.**

---

**Ing. Lionelo Espina**  
**Tutor Industrial**

---

**Ing. Andrés E. Blanco**  
**Tutor Académico**

---

**Ing. Natasha Alarcón**  
**Jurado Evaluador**

---

**Ing. Iván Turmero**  
**Jurado Evaluador**



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar gras a Dios que me ha dado la vida, la fuerza y la constancia, con los cuales mis pequeños logros a lo largo de mi carrera no hubieran sido posibles.

A mis padres que gracias a su aliento y su disciplina, me han dado la guía en cada momento de dificultad y apoyo en cada éxito.

A Ariadna mi hermana mayor y su esposo Manuel que creyeron en mi y me brindaron la gran oportunidad de terminar mi carrera en el momento adecuado.

A Anaís mi hermana menor, que está allí para recordarme que no todo es difícil y que hay maneras más fáciles de hacer las cosas, solo hay que encontrar esos caminos.

A Simón Vera que ha sido un gran compañero durante toda mi carrera, dándome apoyo, consejos, ayuda y guía, además de darme gratos momentos.

A mis amigos Lino, Febrina, María Carolina, Vallenilla, Elinora, Tina, Franco, Elizabeth, Lilibeth, Meiling, Giordano, Maria Daniela, Daniela, Carlos Blanco, María Bethania, Luis Rojas, que entre todos han colaborado de alguna forma en este logro y han hecho el viaje más ameno.

A mio tío Orlando, a mi tía Jeanet y a Vilma, que me facilitaron herramientas para mi desarrollo personal y académico.

A mi tutor Académico Andrés Eloy Blanco, que ha sido el que me ha mostrado el camino a lo largo de este trabajo de grado y su comprensión me ha ayudado a afrontar el reto gratamente.

A mi tutor Industrial Lionelo Espina, gracias por tenerme paciencia y exigirme lo suficiente para obtener un trabajo de grado satisfactorio.

Y por último gracias a todos mis familiares y amigos que me han apoyado.

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA**

**“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL  
A LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE, ACUEDUCTO OESTE, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES.**

Autor: Br. Andrea Martínez  
Tutor académico: Ing. Andrés Blanco  
Tutor Industrial: Ing. Lionelo Espina

**RESUMEN**

El presente trabajo de Investigación se contempla la gestión de mantenimiento integral sobre los equipos a utilizar en la Planta de Tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, la cuál se proyecta construir a finales del año 2012. Dicha gestión propuesta se fundamenta en dos bases, en un Plan de Mantenimiento Preventivo y Predictivo y un Diseño de Indicadores. El Plan de Mantenimiento esta compuesto por los códigos de identificación de los equipos, subsistema al que pertenecen, descripción del equipo, actividad a realizar, frecuencia, descripción de la actividad a realizar, herramientas a utilizar, medidas de seguridad y personal. El Diseño de Indicadores, en el que se incluye los previamente utilizados por la empresa como corriente eléctrica, tensión, vibración y temperatura y los que adicionaron confiabilidad y mantenibilidad con su respectiva herramienta en software libre para su control.

**Palabras claves:** Mantenimiento, Plan, Indicadores, Sistema de Gestión, Planta de Tratamiento, Acueducto Oeste.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA .....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo General .....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	6
1.3 Justificación .....	6
1.4 Alcance.....	7
1.5 Limitaciones .....	7
CAPÍTULO II.....	8
GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	8
2.1. Nombre.....	8
2.2. Ubicación Geográfica .....	8
2.3. Reseña Histórica .....	8
2.4. Servicios que presta .....	9
2.5. Recursos .....	9
2.6. Misión .....	10
2.7. Visión.....	10

2.8. Valores .....	10
- Política. ....	11
Estructura Organizativa de la empresa .....	11
CAPÍTULO III.....	14
MARCO TEÓRICO .....	14
3.1 Bases Teóricas.....	14
3.1.1 Diagnóstico .....	14
3.1.2 Calidad del agua para el consumo humano. ....	14
3.1.3 Proceso de Tratamiento del Agua.....	18
3.1.3 Mantenimiento.....	22
3.1.4 Identificación de los Equipos para el plan de mantenimiento....	30
3.1.5 Selección de equipos (Análisis de criticidad) .....	32
3.1.6 Indicadores del mantenimiento .....	35
3.2 Definición de términos básicos.....	45
3.3 Glosario de términos básicos .....	47
CAPÍTULO IV .....	49
MARCO METODOLÓGICO.....	49
4.1. Tipos de Investigación.....	49
4.2 Diseño de Investigación .....	50
4.3 Población y Muestra .....	50
4.4 Técnicas de Recolección de Datos .....	51
4.4.1 Análisis Documental.....	52
4.4.2 Observación directa .....	52
4.4.3 Entrevistas cualitativas.....	53

4.4.4 Recursos .....	53
4.5 Procedimiento .....	53
CAPÍTULO V .....	56
SITUACIÓN ACTUAL .....	56
5.1 Breve descripción del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, municipio Heres. ....	56
5.1.1 Captación .....	56
5.1.2 Entrada y mezcla rápida.....	56
5.1.3 Floculación .....	57
5.1.4 Sedimentación .....	58
5.1.5 Filtración.....	58
5.1.6 Almacenamiento .....	59
5.2 Listado de Equipos a funcionar en la planta.....	61
5.3 Situación Actual de la Gerencia de Mantenimiento .....	61
5.3.1 Aspecto Organizativo .....	62
5.3.2 Aspecto Técnico.....	64
5.3.3 Situación de cada planta .....	68
5.3.4 Resumen de la situación actual .....	69
CAPÍTULO VI .....	71
RESULTADOS .....	71
6.1 Análisis de Criticidad .....	71
6.2 Diseño de Indicadores.....	71
6.2.1 Mediciones Rutinarias .....	71
6.2.2 Indicadores de la Gestión de Mantenimiento .....	73

6.3 Plan de Mantenimiento.....	80
6.4 Programa de Mantenimiento .....	80
6.5 Personal Requerido para ejecutar el Plan de Mantenimiento.....	80
6.5 Estrategias de mejora.....	83
6.5.1 Estrategias FO (Fortalezas y oportunidades).....	83
6.5.2 Estrategias FA (Fortalezas y amenazas) .....	83
6.5.3 Estrategias DO (Debilidades y oportunidades) .....	84
6.5.4 Estrategias DA (Debilidades y Amenazas).....	84
CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
APÉNDICE 1 .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 CALIDAD DEL AGUA PARA USO HUMANO.....	15
Tabla 2 Análisis de Criticidad .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura Organizativa de Hidrobolívar .....	12
Figura 2 Estructura Organizativa de Gerencia General de Proyectos y Construcción.....	13
Figura 3 Planta potabilizadora .....	20
Figura 4 Diagrama de Proceso Actual de la Planta de Tratamiento de agua Potable de 600 Ips en Ciudad Bolívar, Municipio Heres .....	60
Figura 5 Estructura Organizativa de la Gerencia de Mantenimiento.....	63
Figura 6 Flujo de la gestión del mantenimiento correctivo.....	67
Figura 7 Tablas a llenar para el seguimiento de las Causas y el Estado del Equipo.....	74
Figura 8 Fragmento del informe de la herramienta desarrollada .....	75
Figura 9 Ingreso de Horas Antes de Fallar de la herramienta .....	76
Figura 10 Fragmento del informe representando la Probabilidad de falla .....	77
Figura 11 El Cuadro del ingreso de los datos para la Mantenibilidad.....	78
Figura 12 Extracto del Informe de la Herramienta .....	78
Figura 13 Cuadros a llenar por parte del usuario.....	79
Figura 14 Fragmento del Informe de la herramienta desarrollada para el seguimiento de las órdenes de trabajo .....	79

## **INTRODUCCIÓN**

HIDROBOLÍVAR, es una empresa del estado Bolívar encargada del tratamiento del agua potable y residual para la población de la región. Haciendo la toma del agua cruda en los diferentes ríos que conforman el recurso hídrico del estado y procesándola para llevarla a las redes de distribución de los centros poblados que se benefician de este servicio, así como la estructura de tuberías que captan las aguas servidas.

Para esto cuenta con varias plantas de tratamiento distribuidas por todo el estado, que se encargan que el servicio, debido a su naturaleza se encuentre siempre disponible para todos los ciudadanos, lo cual hace necesario la construcción de nuevas plantas a medida que la demanda aumenta y que las mismas cuenten con un sistema de gestión de mantenimiento adecuado para conservar la calidad del servicio.

Como es el caso del municipio Heres, en el cual se proyecta la construcción de una planta de 600 lps para aliviar la demanda existente, y por lo tanto, también es imprescindible contar con un plan de mantenimiento preventivo que permita conservar la operatividad de la planta. Lo cual contribuirá a elevar los niveles de producción al mantener la vida útil de los equipos y a la vez mejorará el suministro del servicio en condiciones de oportunidad, cantidad y calidad.

La adopción de políticas de mantenimiento preventivo son indispensables para la disminución de los costos tanto de producción como de mantenimiento en general, ya que cuando solo realiza mantenimiento correctivo se corre un riesgo mayor de la suspensión del servicio, disminución de la calidad, lo cual repercute en la insatisfacción de los clientes y consecuencias en su salud.

Este informe consta de seis (6) capítulos repartidos de la siguiente forma **Capítulo I: El Problema.** Se plantea el problema que se presenta con la carencia de un sistema de mantenimiento integral, además los objetivos de la investigación, su justificación y alcance. **Capítulo II: Generalidades de la empresa.** Se presentan nombre, ubicación geográfica, reseña histórica de la empresa, recursos, filosofía de gestión, estructura organizativa. **Capítulo III: Marco Teórico.** Se desarrollan las bases teóricas que sustentan la investigación. **Capítulo IV: Marco Metodológico:** Se expone el tipo de investigación, el diseño de la investigación, población y muestra, técnicas de recolección de datos y procedimiento. **Capítulo V: Situación Actual:** Exhibe la composición de la planta a construir y la situación actual de la Gerencia de Mantenimiento. **Capítulo VI: Resultados:** Donde se explican los resultados obtenidos y se expone la propuesta. Por último Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

HIDROBOLÍVAR es una organización cuya misión consiste en “proveer el servicio de agua potable y saneamiento en condiciones de óptima calidad...” debido a la naturaleza de la empresa, cuyo objetivo es llegar a cada hogar que pertenezca al estado Bolívar, se tiene que a medida que aumenta la población aumenta la demanda. Por lo tanto, si no se toman medidas para abastecer estos nuevos hogares, la calidad de servicio se verá comprometida.

De acuerdo a la información de Prensa Hidrobolívar para el año 2006 apenas 46% de la población de Ciudad Bolívar tenía acceso al agua potable, lo cual se solventa aumentando las redes de distribución a un 95,5 % al año 2010, mas no se ha aumentado el caudal en forma significativa para satisfacer al resto de la población, lo que ha ocasionado continuas maniobras para dejar de abastecer ciertos sectores para satisfacer a otros, lo que se traduce en una disminución significativa de la calidad del servicio.

Por lo tanto, en el año 2011 se realiza el estudio técnico y económico para solucionar la falta de agua en la población, se evaluaron varias propuestas siendo la más viable tanto técnica como económicamente construir una planta de tratamiento de agua potable en Ciudad Bolívar para el Sector Oeste.

Luego del estudio de condiciones actuales y futuras se plantea la construcción una planta de tratamiento de 600 litros por segundo (lps) para

mejorar el servicio en las parroquias Agua Salada, La Sabanita y José Antonio Páez de manera que dispongan del vital líquido de manera continua y de calidad.

Por otro lado, en Hidrobolívar a partir del año 2011 se está formando la Gerencia de Mantenimiento, la cuál está empezando a adoptar políticas de mantenimiento preventivo, ya que desde que la organización está funcionando el mantenimiento que se lleva a cabo es principalmente correctivo. También, es importante destacar que por la naturaleza de la empresa (la cuál tiene el deber de brindar su servicio de manera continua) es necesario que se plantee para todos los equipos que allí operan un sistema de gestión de mantenimiento integral.

Según el Sitio Oficial de la Gobernación del Estado Bolívar, en el año 2009 se culminan los trabajos de rehabilitación de la planta Tocomita, los cuáles se realizaron durante 2 años y se incluye una gran inversión para su logro, debido a que no se le había realizado mantenimiento durante 30 años, lo que acarreaba un agua una calidad con valores elevados con respecto a los valores esperados para una planta de tratamiento, además de llenar de sedimento la tubería.

Para el año 2006, se suspende el servicio de agua durante 5 días, según Prensa Hidrobolívar, para justamente mejorar las condiciones de funcionamiento la tubería que conecta Tocomita con la red de distribución del municipio Heres, debido a los sedimentos acumulados durante los casi 30 años que estuvo sin mantenimiento.

Ambos casos trajeron consecuencias desfavorables para la empresa, tomando en cuenta que no se entregaba a los bolivarenses la calidad de agua exigida por la Organización Mundial de la Salud, la suspensión del servicio que deja a la población descontenta y lo que afecta más aún a la

empresa es que de haberse realizado el mantenimiento a tiempo sus costos hubieran sido menores a los trabajos adicionales que debieron realizarse.

Por lo tanto, es menester para la planta que se proyecta construir incluirla en estos planes de mantenimiento integral. Además, este trabajo pretende cubrir la necesidad de esta planta en formar parte de las políticas de la Gerencia de Mantenimiento.

La razón por la cual los equipos de la planta de tratamiento de Ciudad Bolívar son candidatos a dichos tipos de mantenimiento, es por la responsabilidad que tiene Hidrobolívar para suministrar el agua a esas zonas necesitadas y también porque el costo de este mantenimiento es menor a los posibles cambios de equipos y a la probable falta de servicio de no llevar a cabo las prácticas de mantenimiento.

Por lo tanto es imprescindible para la preservación y control de equipos la realización de un sistema de gestión de mantenimiento integral, además de alinearse con las nuevas políticas adoptadas por la organización, sienta un precedente sobre la forma en que se conforman las plantas y en la incorporación del mantenimiento junto con el desarrollo del proyecto para su conservación a largo plazo.

## **1.2 Objetivos**

En este orden de ideas se plantean los siguientes objetivos para el trabajo de investigación.

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento integral a los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

1. Realizar diagnóstico de la situación actual de los equipos a utilizar de la planta de tratamiento de agua potable. Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
2. Identificar los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
3. Llevar a cabo un análisis de criticidad a los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
4. Plantear un Plan y un Programa de mantenimiento preventivo a los equipos críticos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
5. Calcular el Personal requerido para llevar a cabo el Plan de Mantenimiento Preventivo a los equipos críticos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
6. Diseñar indicadores del mantenimiento para los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar, en función de la situación actual.
7. Desarrollar estrategias de mejora para el sistema de gestión de mantenimiento.

### **1.3 Justificación**

Este trabajo de grado es necesario para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos a utilizar para el suministro de agua de potable de la planta Oeste de Ciudad Bolívar, además de respaldar su integridad.

También al favorecer el alargamiento de la vida útil de los equipos garantiza un servicio oportuno y de calidad. Ya que se aumenta los tiempos entre fallas, se obtienen equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad, lo

que trae como consecuencia una disminución de pérdidas económicas para la organización y asimismo de clientes insatisfechos.

#### **1.4 Alcance**

Este trabajo de investigación pretende cubrir el mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto suroeste, en Ciudad Bolívar, municipio Heres, Estado Bolívar.

#### **1.5 Limitaciones**

La Gerencia de mantenimiento apenas tiene un año de funcionamiento, por lo tanto, la información sobre el funcionamiento de las gestiones del mantenimiento es limitada.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

#### **2.1. Nombre**

HIDROBOLÍVAR, C. A.

#### **2.2. Ubicación Geográfica**

Zona Industrial Matanzas parcelas 321-08-04 y 321-08-05 Puerto Ordaz, Parroquia Unare, Estado Bolívar.

#### **2.3. Reseña Histórica**

La sociedad mercantil Hidrobolívar C.A, fue constituida y debidamente registrada en un principio como Aguas de Bolívar C.A, la cual quedo registrada por la oficina del registro mercantil segundo del Estado Bolívar en la fecha, 10 de septiembre del 2002.

En el acta de asamblea extraordinaria de accionistas, de la fecha 24 de febrero de 2005 se sometió a discusión y aprobación de los siguientes puntos; cesión de las acciones, modificación de la denominación de la empresa, al igual que la aprobación del proyecto de la reforma general de los estatus, nombramiento de la nueva junta directiva. La sociedad fue debidamente registrada ante la oficina del registro mercantil segundo en la fecha 03 de marzo del 2005, bajo el nombre de HIDROBOLIVAR C.A.

HIDROBOLIVAR C.A, es una empresa hidrológica del Estado Venezolano, creado por el Gobierno Regional y sus once municipios las cuales son: Heres, Caroní, Angostura, Piar, Sucre, Padre Chien, Gran Sabana, Cedeño, Roscio, Sifontes, El Callao. Nace para satisfacer y solucionar los problemas

del agua en la comunidad de esta Entidad ya que es uno de los recursos prioritarios del ser Humano.

#### **2.4. Servicios que presta**

El principal servicio prestado por la hidrológica es el tratamiento de agua y su distribución a las distintas comunidades, centros urbanos e industrias ubicados por todo el estado Bolívar, para luego realizar su recolección y saneamiento de las aguas servidas.

#### **2.5. Recursos**

Hidrobolívar cuenta con acueductos y plantas potabilizadoras ubicadas por todo el estado entre las principales vale destacar:

- Acueducto Angostura Ciudad Bolívar, municipio Heres.
- Acueducto Tocomita en Gurí que surte a Ciudad Bolívar, municipio Heres.
- Sistema Integral Acueducto en Puerto Ordaz, municipio Caron.
- Acueducto Industrial en Puerto Ordaz, Municipio Caroní.
- Acueducto Macagua en San Félix, municipio Caroní.
- Acueducto Santa Rosa en Upata, municipio Piar.
- Planta de tratamiento de agua Puente Blanco que suministra agua a Guasipati y El Callao, que queda en la Troncal 10 entre los municipios Roscio y El Callao, respectivamente.
- Planta de tratamiento de agua Tumeremo en el municipio Sifontes.
- Planta de El Palmar, Municipio Padre Chén.
- Planta de tratamiento La Paragua en el municipio Angostura.
- Planta de tratamiento de agua potable de Caicara del Orinoco, municipio Cedeño.
- Planta de tratamiento Wara, Santa Elena de Uairén.

Es válido mencionar que se incluyen unidades autónomas potabilizadoras por todo el territorio en las comunidades más pequeñas gracias al convenio Venezuela-Uruguay y aparte de todas estas plantas, cuenta con las redes de distribución que llevan el agua desde las plantas y acueductos hasta los hogares y organizaciones conectados a esta red. Por supuesto es imprescindible señalar parte de lo que conforman los recursos de Hidrobolívar son los sistemas encargados de la recolección de las aguas servidas.

## 2.6. Misión

Proveer el servicio de agua potable y saneamiento en condiciones de óptima calidad, mediante un modelo de gestión efectivo y sustentable, asegurando la satisfacción de nuestros clientes y el desarrollo de una nueva cultura del agua fundamentada en la valoración del recurso hídrico.

## 2.7. Visión

**“Ser la Hidrológica de Referencia Nacional”**

## 2.8. Valores

### **- Integridad, Ética y Compromiso**

Valoramos los comportamientos que reflejan ética, transparencia, honradez, disposición y automotivación como medio para obtener credibilidad y respeto.

### **- Orientación a los Procesos y Clientes**

Valoramos los aportes para mejorar los procesos a través de la identificación y logro de objetivos cuantificables, realistas y rentables, enfocados a satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

#### **- Comunicación Abierta**

Valoramos el intercambio de información dentro de un espíritu abierto y sincero como medio para abordar y resolver los problemas cotidianos dentro de la organización.

#### **- Trabajo en Equipo**

Valoramos el trabajo en equipo por tener un resultado superior a los esfuerzos individuales hacía el logro de un fin común.

#### **- Creatividad e Innovación.**

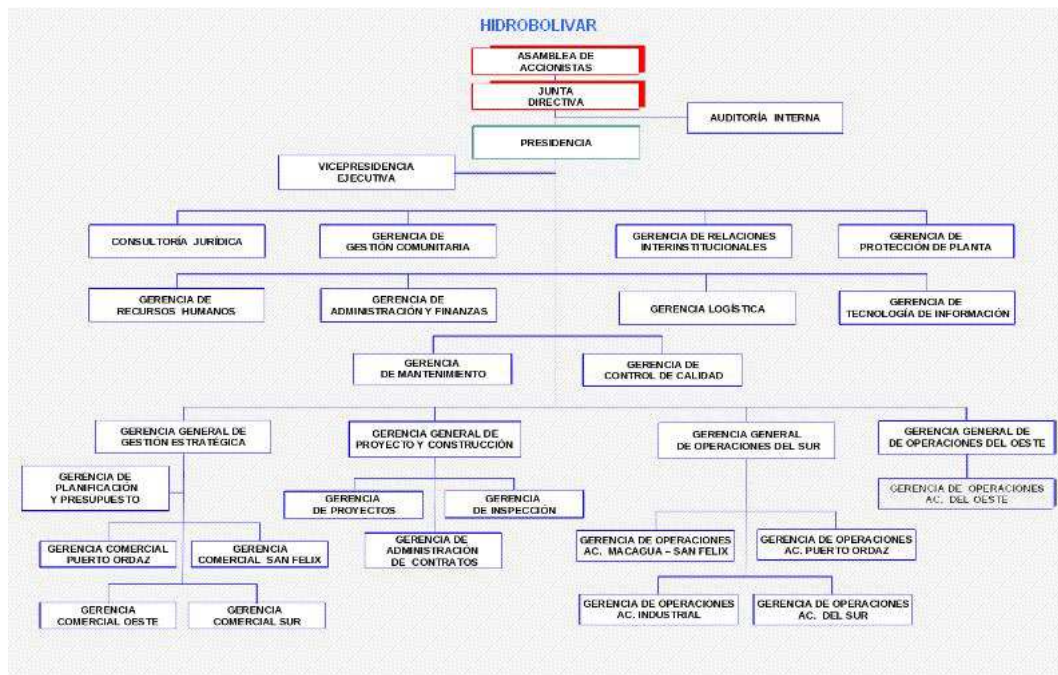
Valoramos la búsqueda continua de nuevas soluciones que agreguen valor a la misión de HIDROBOLIVAR.

#### **- Política.**

En HIDROBOLIVAR C.A, estamos comprometidos a prestar un servicio de agua potable e industrial, que satisfaga los requisitos establecidos en las normas sanitarias, mejorando continuamente los procesos, desarrollando las competencias de nuestro capital humano, manteniendo un ambiente de trabajo seguro, promoviendo la participación comunitaria organizada para solución de problemas del servicio de agua y mejorando continuamente el Sistema de Gestión de la Calidad.

#### **Estructura Organizativa de la empresa**

La estructura organizativa se muestra en la figura 1:



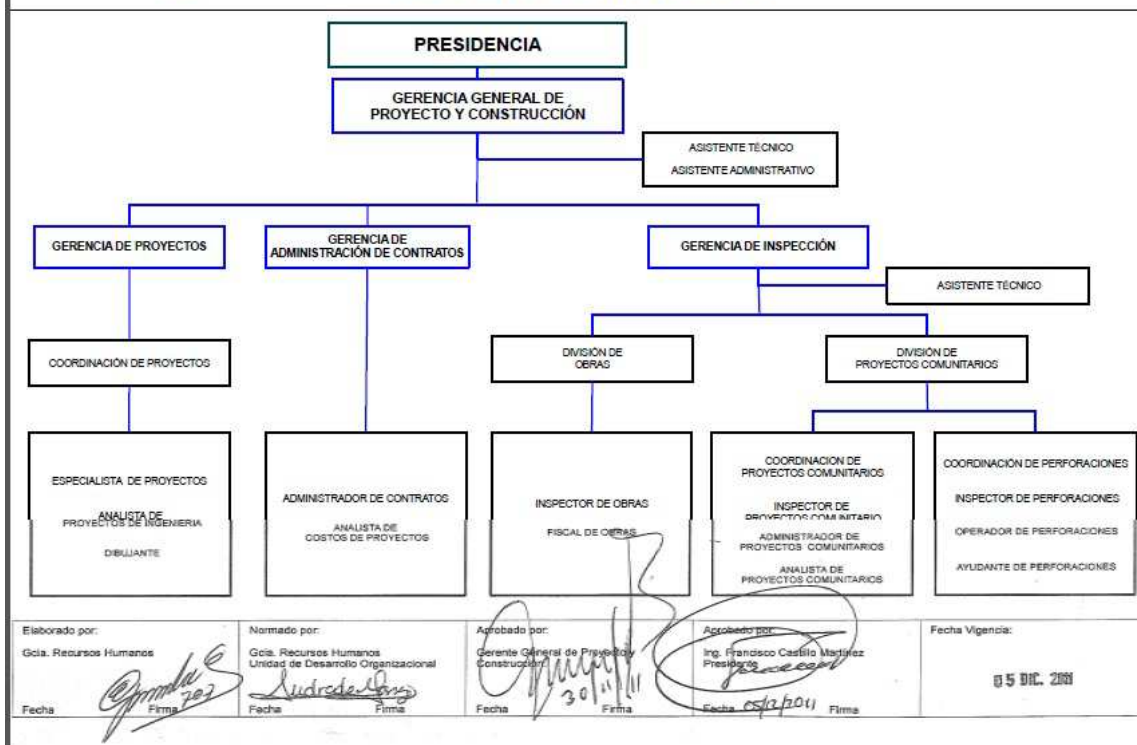
**Figura 1 Estructura Organizativa de Hidrobolívar**

**Fuente:** [www.hidrobolivar.gob.ve/DI\\_filosofia/AR\\_estruc\\_org.php](http://www.hidrobolivar.gob.ve/DI_filosofia/AR_estruc_org.php)

### **Estructura Organizativa de la Gerencia General de Proyecto y Construcción.**

Este trabajo de Investigación se realiza específicamente en el área de coordinación de proyectos, (ver figura 2).

## ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GERENCIA GENERAL DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN



**Figura 2 Estructura Organizativa de Gerencia General de Proyectos y Construcción.**

**Fuente: Gerencia General de Proyectos y Construcción.**

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Bases Teóricas**

##### **3.1.1 Diagnóstico**

Es lo relativo a diagnosis y a diagnosticar, lo cual esta definido por la Real Academia Española como “recoger y analizar datos para evaluar problemas de diversa naturaleza” en el caso de esta investigación, todos los datos que se recolectan con el fin de describir la situación actual.

##### **3.1.2 Calidad del agua para el consumo humano.**

El agua debe estar libre de elementos patógenos y no debe poseer características que la hagan objetable. Para cumplir con esta premisa, las autoridades de los diversos países han establecido normas que deben ser observadas por los proyectistas, constructores y operadores de los sistemas de abastecimiento urbano. En general, dichas normas son de dos tipos.

El primero está destinado a la protección de las cuencas hidrográficas y el control de calidad de los cuerpos de agua. En ella se establecen los requerimientos mínimos que deben tener las aguas crudas destinadas a diferentes usos tales como doméstico, riego, marinas o de medios costeros destinados a cría y explotación de moluscos consumidos en crudo, etc., así como la calidad de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente.

El segundo tipo de normas establecen la calidad del agua potable que deben suministrar los acueductos. En general este tipo se basa en normas de organismos internacionales, deben ser consideradas como modificables en el tiempo y sometidas a revisiones periódicas para adaptarlas a los

nuevos avances de la ciencia y la tecnología. A manera de ejemplo de este tipo de norma se resumen los aspectos más importantes de las normas vigentes en Venezuela.

### 1. Requisitos microbiológicos

El agua no debe contener microorganismos transmisores o causantes de enfermedades. Como criterio de evaluación se usa la detección de organismos del grupo coliforme.

De acuerdo a la norma ninguna muestra de 100 mililitros deberá indicar la presencia de organismos coliformes fecales. Además deben cumplirse las restricciones referentes a los otro coliformes: el 95% de las muestras examinadas no deberán indicar la presencia de organismos coliformes en 100 ml, y en ningún caso deberá detectarse organismos coliformes en dos muestras consecutivas de 100 ml captadas el mismo sitio.

### 2. Requisitos biológicos

El agua no deberá contener protozoarios patógenos intestinales, ni Helmitos. Así mismo, el agua no deberá contener organismos de vida libre. Finalmente, el agua proveniente de las zonas endémicas de enfermedades transmitidas por el agua, deberá ser sometida a vigilancia sanitaria y a la aplicación de tratamientos adecuados.

### 3. Requisitos organolépticos, físicos y químicos.

El agua deberá cumplir con los requisitos resumidos en la tabla 1.

**Tabla 1 CALIDAD DEL AGUA PARA USO HUMANO**

<b>COMPONENTE O CARACTERÍSTICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>C.M</b>
<b>I - COMPONENTES RELATIVOS A LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA</b>		

Color	Color verdadero	15
<b>COMPONENTE O CARACTERÍSTICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>C.M</b>
Turbiedad	UNT	5
Olor y sabor	„	Aceptable para consumir
Salidos disueltos totales	mg/l	1.000
Dureza total	mg/l CaCo <sub>3</sub>	500.000
Ph	---	6.500 – 8.500
Aluminio	mg/l	0.200
Cloruros	mg/l	250.000
Cobre	mg/l	1.000
Hierro total	mg/l	0.300
Manganeso total	mg/l	0.100
Sodio	mg/l	200.000
Sulfatos	mg/l	400.000
Zinc	mg/l	5.000
<b>2- COMPONENTES INORGÁNICOS</b>		
Arsénico	mg/l	0.050
Cadmio	mg/l	0.005
Cianuro	mg/l	0.100
Cromo total	mg/l	0.050
Fluoruros (1)	mg/l	0.600-1.700
Mercurio total	mg/l	0,001
Nitratos	mg/l-N	10.000
Nitritos	mg/l-N	0.002
Plomo	mg/l	0.050
Selenio	mg/l	0.010

Plata	mg/l	0.050
Cloro residual	mg/l Cl <sub>2</sub>	1.000
<b>COMPONENTE O CARACTERÍSTICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>C.M</b>
<b>3 - COMPONENTES ORGÁNICOS</b>		
Cloroformo	ug/l	30.000
1,2 Diodoroetano	ug/l	10.000
1,2Dicloroetano	ug/l	0.300
Pentaclorofenol	ug/l	10.000
2,4,6 Triclorofenol	ug/l	0.030
Clordano	ug/l	0.030
Ddtv sus metabolitos	ug/l	1.000
Heptacloro y Hepcloro Epóxico	ug/l	0.100
2,4 -D	ug/l	100.000
Lindano	ug/l	3.000
Metoxicloro	ug/l	30.000
Hexaclobenceno	ug/l	0.010
Benceno	ug/l	10.000
Benzopireno	ug/l	0,010
C.M.P. = Concentración máxima permisible, en mg/l. (1) El límite recomendable para el contenido fluoruro varía de acuerdo al promedio anual de temperaturas máximas del aire.		

**Fuente: Proyectos de Ingeniería Hidráulica (Juan José Bolinaga y colaboradores 1999)**

#### 4. Requisitos radiológicos

El agua no deberá contener elementos radioactivos ni haber sido contaminada con tales elementos. Los valores máximos permitidos,

expresados Bequerelios por litro (Bq/l), son 0,1 para la radioactividad Beta Global.

### 3.1.3 Proceso de Tratamiento del Agua

El agua potable no nace, se hace. Cuando un proveedor de agua obtiene el agua no tratada de un río o embalse, regularmente contiene suciedad y pequeños pedazos de hojas y otras materias orgánicas, además de pequeñas cantidades de ciertos contaminantes. Esto se lleva a cabo a través de un proceso industrial donde se conjugan factores importantes que requieren de esfuerzo humano, de toda una organización de trabajo permanente y grandes inversiones.

A partir de la fuente de abastecimiento que no es otra que el agua tal como nos la presenta la naturaleza, ríos, lagos, quebradas, embalses o aguas subterráneas, el agua transita básicamente por dos procesos importantes:

**Clarificación:** Consiste en la eliminación de partículas finas, que originan la turbiedad, propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta, además de turbiedad es posible también definir color. Se habla de color aparente si no se ha removido la turbiedad y de color verdadero del agua en caso contrario. el color del agua se debe principalmente a materia orgánica y minerales en suspensión o en estado coloidal. Esta etapa se subdivide en: Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

**Coagulación y Floculación:** son dos procesos en el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar. La Coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que reduzcan las fuerzas de separación entre ellas, comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundos. La floculación tiene

relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

**Sedimentación:** A través de este proceso los sólidos suspendidos (hidróxidos que se han formado) son separados del agua, dejándolos reposar y por acción de la gravedad sedimentan en el fondo de los decantadores. Un decantador consiste en un recipiente generalmente rectangular, con un volumen suficiente como para permitir que el agua permanezca el tiempo necesario para que los coágulos se depositen en el fondo, formando lo que comúnmente se denominan barros.

**Filtración:** Consiste en separar un sólido de un líquido a través de un medio filtrante. El agua limpiada conserva aun algunos materiales en suspensión y es necesario filtrarla para producir una clarificación completa.

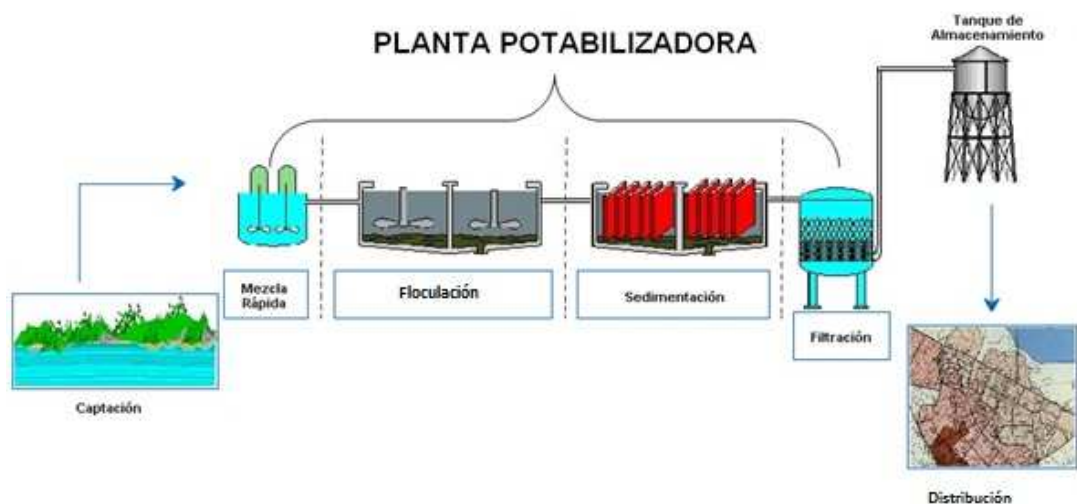
**Desinfección:** Aunque la carga microbiana puede haber quedado retenida en el filtro de arena fina, es necesario desinfectar el agua. A partir de la cloración de las aguas, se han podido controlar la mayoría de las enfermedades de transmisión hídrica como el cólera y las disenterías bacterianas.

El desinfectante utilizado casi universalmente es el gas Cloro, pudiéndose utilizar también el método de la ozonización.

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de estos microorganismos. Si estos microorganismos

no son eliminados el agua no es potable y es susceptible de causar enfermedades. El agua potable no puede contener estos microorganismos.

El proceso queda ilustrado según la figura 3.



**Figura 3 Planta potabilizadora**

**Fuente:** [www.hidrobolivar.gob.ve/DI\\_infraestructura/AR\\_plantas.php](http://www.hidrobolivar.gob.ve/DI_infraestructura/AR_plantas.php)

### 3.1.3.1 Equipos comúnmente utilizados en plantas potabilizadoras tradicionales

Tal como se mencionó las plantas potabilizadoras de agua con módulos y equipos. Los cuales se pueden dividir en 3 áreas las cuáles son las siguientes:

Equipos mecánicos: Cuya función es controlar el flujo y la velocidad del agua entre los que se menciona:

- Bombas hidráulicas, a cargo de brindarle energía al agua con el fin de transportarla a la altura deseada. Fundamentales en planta de tratamiento de agua potable de agua superficial de la naturaleza proyectada.
- Agitadores, los responsables de mezclar el coagulante con el agua.

- Tuberías y accesorios, los cuales son el medio de transporte del agua desde su captación hasta la entra del suministro y de regular el caudal que por allí pasa.

Módulos de potabilización: estos se encargan en si mismos de la potabilización del agua en sus distintas fases:

- Filtros; es el medio por el que se lleva a cabo el proceso de filtración, con la finalidad de eliminar sólidos presentes mientras el agua pasa a través del medio filtrante.
- Tanques de sedimentación; es la herramienta principal para el proceso de sedimentación, el cuál es otro proceso físico para la separación del fluido de las partículas.
- Dosificadores; responsables de la cantidad de compuestos químicos vertidos en el agua para su potabilización.

Equipos eléctricos: los cuáles se encargan de brindar la energía necesaria para la potabilización en la planta, entre los cuáles se tienen:

- Transformadores: Son aparatos eléctricos que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica proveniente de las líneas de alta tensión a la misma frecuencia pero disminuyendo la tensión a la adecuada utilizada en la planta.
- Centro de control de motores; el cuál es básicamente el que controla a los alimentadores de los motores y el resto de circuitos derivados.
- Motores eléctricos, que en su mayoría transforman la energía que reciben para hacer funcionar las bombas u otros artefactos a los cuales están conectados.

### 3.1.3 Mantenimiento

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el con el máximo rendimiento.

#### 3.1.3.1 Funciones del mantenimiento

En términos muy generales, puede afirmarse que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso.

La concreción de esta definición tan amplia dependerá de diversos factores entre los que puede mencionarse el tipo de industria así como su tamaño, la política de la empresa, las características de la producción, e incluso su emplazamiento. Aun así, las tareas encomendadas al departamento encargado del mantenimiento pueden diferir entre las distintas empresas, atendiendo a la estructura organizativa de las mismas, con lo que las funciones del mantenimiento, en cada una de ellas, no serán obviamente las mismas.

Por tanto, dependiendo de estos factores citados, el campo de acción de las actividades de un departamento de ingeniería del mantenimiento puede incluir las siguientes responsabilidades:

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.

- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación de diseño de equipos e instalaciones.
- Llevar a cabo aquellas tareas que implican la modificación o reparación de los equipos o instalaciones.
- Instalación de nuevos equipos.
- Asesorar a los mandos de producción.
- Velar por el correcto suministro y distribución de energía.
- Realizar el seguimiento de los costes de mantenimiento.
- Preservación de locales, incluyendo la protección contra incendios.
- Gestión de almacenes.
- Tareas de vigilancia.
- Gestión de residuos y desechos.
- Establecimiento y administración del servicio de limpieza.
- Proveer el adecuado equipamiento al personal de la instalación.

Cualesquiera que sean las responsabilidades asignadas al servicio de mantenimiento, es fundamental para el buen funcionamiento de la empresa que éstas estén perfectamente definidas y sus límites de acción y autoridad claramente establecidos, esto implica evitar que determinadas actuaciones queden mal definidas, en lo que suele llamarse “terreno de nadie”, o por el contrario, que exista superposición de responsabilidades, lo que podría ocasionar conflictos de autoridad.

### 3.1.3.2 Tipos de mantenimiento

Aunque podrían establecerse diferentes clasificaciones del mantenimiento, atendiendo a las posibles funciones que se le atribuyan a éste, así como a la forma de desempeñarla, tradicionalmente se admite una clasificación basada más en un enfoque metodológico o filosofía de planteamientos, que en una

mera relación de particularidades funcionales asignadas, que -como se ha visto- depende de diversos factores. Desde esta perspectiva, pueden distinguirse los siguientes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Productivo Total

Ninguno de los tipos anteriores se utiliza de forma exclusiva sino que, en aras de la rentabilidad de la explotación, se impone practicar una adecuada combinación de los tipos anteriores, realizando lo que se ha venido a llamar mantenimiento planificado. Esto consiste, en definitiva, en efectuar una correcta selección de las plantas o de los equipos a los que se va aplicar cada uno de los tipos de mantenimiento anteriores. Seguidamente se hace una descripción de cada de los tipos enunciados.

➤ Mantenimiento Correctivo

En este tipo de mantenimiento, también llamado “a rotura” (breakdown maintenance), solo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata, por tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo.

A pesar de que por su definición pueda parecer una actitud despreocupada de atención a los quipos, lo cierto es que este tipo de mantenimiento es el único que se practica en una gran cantidad de industrias, y en muchas ocasiones esto está plenamente justificado, especialmente en aquellos casos en los que existe un bajo coste de los componentes afectados, y donde los equipos son de naturaleza auxiliar y no directamente relacionados con la producción.

En otros casos, cuando el fallo de los equipos no supone la interrupción de la producción, ni siquiera afecta a la capacidad productiva de forma instantánea, las reparaciones pueden ser llevadas a cabo sin perjuicio de ésta. En estos casos, el coste derivado de la aparición de un fallo imprevisto en el equipo es, sin lugar a dudas, inferior a la inversión necesaria para poner en práctica otro tipo de mantenimiento más complejo.

En este sentido conviene indicar que, incluso en aquellas instalaciones industriales que disponen de sofisticados planes de mantenimiento, existe generalmente un porcentaje de equipos en los que se realiza exclusivamente este tipo de mantenimiento.

Esta filosofía de mantenimiento no requiere de ninguna planificación sistemática, por cuanto no se trata de planteamiento organizado de tareas. En el mejor de los casos puede conjugarse con un entretenimiento básico de los equipos (limpieza y engrase generalmente) y con una cierta previsión de elementos de repuestos, especialmente aquellos que sistemáticamente deben ser sustituidos. Sin embargo, adoptar esta forma de mantenimiento supone asumir algunos inconvenientes respecto de las máquinas y equipos afectados, los que pueden citarse:

- Las averías se producen generalmente de forma imprevista, lo que puede ocasionar trastornos en la producción, que pueden ir desde ligeras pérdidas de tiempo, por reposición de equipo o cambio de tarea, hasta la parada de la producción, en tanto no se repare o sustituya el equipo averiado.
- Las averías, al ser imprevistas, suelen ser graves para el equipo, con lo que su reparación puede ser costosa.
- Las averías son siempre –en mayor o en menor medida– inoportunas, por lo que la reparación de los equipos averiados puede llevar más tiempo del previsto, ya sea por ausencia del

personal necesario para su reparación, o ya sea por falta de los repuestos necesarios.

- Por tratarse de averías inesperadas, el fallo podría venir acompañado de algún siniestro, lo que obviamente puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad del personal de las instalaciones.

#### ➤ Mantenimiento Preventivo

Como ya se ha indicado, la finalidad última del mantenimiento industrial es asegurar la disponibilidad de los equipos e instalaciones industriales, para obtener un rendimiento óptimo sobre la inversión total, ya sea de los sistemas de producción, como de los equipos y recursos humanos destinados al mantenimiento de los mismos.

El mantenimiento preventivo supone un paso importante para este fin, ya que pretende disminuir o evitar –en cierta medida- la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados, lo que se conoce como “las erres del mantenimiento”. Si la segunda y a tercera no se realizan, la primera es inevitable.

En las inspecciones se procede al desmontaje total o parcial de la máquina con el fin de revisar el estado de los elementos, remplazando a aquellos que se estime oportuno a la vista del examen realizado. Otros elementos son sustituidos sistemáticamente en cada inspección, tomando como referencia el número de operaciones realizadas o un determinado periodo de tiempo de funcionamiento.

El éxito de este tipo de mantenimiento depende de la correcta elección del período de inspección. Un período demasiado largo conlleva el peligro de la aparición de fallos entre inspecciones consecutivas, en tanto que un periodo demasiado corto puede encarecer considerablemente el proceso productivo. El equilibrio se encuentra como solución de compromiso entre los costes

procedentes de las inspecciones y los derivados de las averías imprevistas. Si bien los primeros pueden ser suficientemente cuantificados, la evaluación de los segundos no es tarea fácil, por lo que la determinación del punto de equilibrio aludido es difícil y suele ajustarse en función de la propia experiencia.

El grave inconveniente que presenta la aplicación exclusiva de este tipo de mantenimiento es el coste de las inspecciones. El desmontaje y la revisión de una máquina que está funcionando correctamente o la sustitución de elementos (lubricantes, rodamientos, etc.) que no se encuentran en mal estado, se nos convierte innecesario. Por otra parte, sea cual sea el período de inspección fijado, no se elimina la posibilidad de una avería imprevista, si bien cuanto menor sea dicho período de inspección se fija, en cualquier caso, asumiendo-en alguna medida-la posibilidad de la aparición de averías imprevistas durante el intervalo comprendido entre dos inspecciones consecutivas.

Un tipo de mantenimiento que también puede considerarse preventivo es aquel, sin llegar al desmontaje de los equipos, se ocupa de forma periódica de realizar las tareas propias de lo que se suele llamar entretenimiento de los quipos, es decir, engrase, cambio de lubricantes, limpieza, sustitución periódica de ciertos elementos vitales del equipos, etc. Aunque a todos los efectos se trata de un mantenimiento preventivo, se suele denominar mantenimiento rutinario, con el fin de distinguirlo del anterior.

#### ➤ Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costes de los métodos tradicionales – correctivo y preventivo- de mantenimiento. La idea básica de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos. De esta manera es posible, por un

lado remplazar los elementos cuando realmente no se encuentren en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar las averías imprevistas, mediante detección de cualquier anomalía funcional y seguimiento de su posible evolución.

La aplicación del mantenimiento predictivo se apoya en dos pilares fundamentales:

- La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo.
- La vigilancia continua de los equipos.

La mayoría de los componentes de las máquinas avisan de alguna manera su fallo antes de que este ocurra. Por lo tanto, mediante el seguimiento de los parámetros funcionales adecuados es posible detectar prematuramente el fallo de algún componente de la máquina, se podrá asegurar el correcto funcionamiento de la misma, observar su evolución y predecir la vida residual de sus componentes. El conjunto de técnicas que se ocupan del seguimiento y examen de estos parámetros característicos de la máquina se conoce como Técnicas de Verificación Mecánica.

Entre las ventajas más importantes que reporta este tipo de mantenimiento, pueden citarse las siguientes:

- Detectar e identificar precozmente los defectos que pudieran parecer, sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- Observar aquellos defectos que sólo se manifiestan sobre la máquina en funcionamiento.
- Seguir la evolución del defecto hasta que se estime peligroso.
- Elaborar un historial del funcionamiento de la máquina, a través de la evolución de sus parámetros funcionales y su relación con cualquier evento significativos: parada, revisión, lubricación,

reemplazo de algún elemento, cambio en las condiciones de funcionamiento, defectos detectados, etc.

- Programar la parada, para la corrección del defecto detectado, haciéndola coincidir con un tiempo muerto o una parada rutinaria del proceso de producción.
- Programar el suministro de repuestos y la mano de obra.
- Reducir el tiempo de reparación, ya que previamente se ha identificado el origen de la avería y los elementos afectados por la misma.
- Aislar las causa de los posibles fallos repetitivos, y procurar su erradicación.
- Proporcionar criterios para una selección satisfactoria de las mejores condiciones de operación de la máquina.
- Aumentar la seguridad de funcionamiento de la máquina, y en general de toda la instalación.

Sin embargo, una cosa es lo que predica la filosofía del mantenimiento predictivo, y otra lo que realmente se puede esperar de su puesta en práctica. Las dificultades para su desarrollo pleno provienen de los mismos principios en los que se basa, a saber:

En Primer lugar, no existe ningún parámetro funcional, ni siquiera una combinación de ellos, que sea capaz de reflejar exactamente el estado de una máquina, indicando de forma inmediata, mediante la aparición de signos identificadores, la presencia de un defecto incipiente, y además de todos los defectos posibles.

En segundo lugar, no es viable una monitorización (o vigilancia continua) de todos los parámetros funcionales significativos para todos los equipos de instalación. En la realidad el número de parámetros analizados en el programa de mantenimiento debe limitarse, así como la proporción de

máquinas implicadas. Además el término vigilancia continua se flexibiliza hasta convertirlo en vigilancia periódica, reservando la monitorización sólo para aquellos equipos críticos en el proceso.

Como consecuencia de las limitaciones anteriores puede presentarse los siguientes inconvenientes:

- Que el defecto se produzca en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.
- Que un defecto no sea detectado en la medición y análisis de los parámetros incluidos en el programa.
- Que, aun siendo detectado un defecto, éste no sea diagnosticado correctamente o en toda su gravedad.
- Que aun, habiéndose realizado un diagnóstico correcto, no sea posible programar la parada de la máquina en el momento oportuno, y sea preciso asumir el riesgo de fallo.

#### 3.1.4 Identificación de los Equipos para el plan de mantenimiento

A la hora de implantar un Plan de Mantenimiento, es necesario comprobar la posibilidad, justificación y la viabilidad de cada una de las opciones previstas, es decir, realizar un análisis minucioso de todos los detalles que implica su implantación para lograr resultados satisfactorios y evitar enfoque erróneos en cuanto al tipo de mantenimiento a aplicar a cada uno de los equipos o plantas, así como el alcance del mismo.

Antes de abordar los pormenores de la implantación, es preciso efectuar una revisión completa del proceso productivo así como de la instalación, y verificar sus condiciones técnicas de gestión. Será preciso, pues, realizar un estudio detallado de las instalaciones, historiales de las máquinas críticas, impacto de las paradas en la producción, disponibilidad d los equipos, y cuantos aspectos tengan relación con la selección de los equipos que deben integrarse en el sistema a implantar.

Es recomendable comenzar por elaborar una Base de datos, con una ficha técnica para cada equipo implicado, en la que se puede incluir la siguiente información:

- Especificaciones de diseño del equipo.
- Datos descriptivos relevantes del equipo: geométricos, limitaciones, tolerancias, materiales, etc.
- Sistemas auxiliares necesarios.
- Listas de anomalías/averías esperadas.
- Parámetros funcionales más significativos para la detección de desviaciones en el comportamiento normal.
- Magnitudes físicas y unidades de medida que se obtienen de las técnicas predictivas a utilizar.
- Valoración relativa de fiabilidad de elementos y probabilidad de ocurrencia de averías.
- Instrumentación existente en la fábrica.
- Posibilidad de incluir otros parámetros de seguimiento funcional a los equipos.
- Indicación de la necesidad (o de la posibilidad) de monitorización continua.
- Otras observaciones complementarias.

Cualquier cambio de diseño, reforma, eliminación del equipo o modificación en el seguimiento predictivo, debe actualizarse en la Base de Datos. Lo más valioso de este tratamiento es la individualización de los equipos, permitiendo, dado el caso, la diferenciación de dos equipos iguales, tanto en características funcionales paramétricas como en su necesidad de vigilancia, mantenimiento, seguridad, fiabilidad y otros criterios importantes.

### 3.1.5 Selección de equipos (Análisis de criticidad)

Una vez determinada la viabilidad económica e inversión óptima, habrá que decidir qué equipos serán admitidos en el programa previsto. Se trata, pues de clasificar los equipos atendiendo principalmente a la significación funcional y a su repercusión económica.

En general, para decidir los equipos implicados se establece el criterio de seleccionar aquellos cuyo fallo produce una parada de la instalación, una disminución de su capacidad productiva, una merma de la calidad o un peligro eminente de ello. Como puede observarse, estos criterios son los mismos que se consideran cuando se plantea el plan de mantenimiento de la instalación.

Aunque normalmente los equipos críticos de una planta son conocidos, puede ser conveniente realizar una ponderación de la significación funcional de los mismos atendiendo a su importancia en el proceso productivo. Para ellos pueden seguirse distintos criterios de clasificación, en los que puede intervenir factores como la fiabilidad de los equipos, su impacto en la producción, las particularidades de su mantenimiento, la seguridad, y a cualquier otro aspecto que puede considerarse relevante en cada caso.

En primer lugar puede establecerse una clasificación entre los diferentes equipos de la planta en estudio, atendiendo para su efecto sobre el proceso productivo, de la siguiente manera:

1. Equipos cuyo fallo provoca la parada del proceso productivo o afectan negativamente a la capacidad normal de producción.
2. Equipos cuyo fallo no provoca efectos inmediatos sobre el proceso productivo.

Se ha formulado distintas clasificaciones de los equipos con el fin de facilitar la selección de los equipos que deben incluirse en el plan de

mantenimiento. El objetivo de estas clasificaciones no es otro que el de ponderar la importancia de cada uno de los equipos en el proceso productivo, con el fin de establecer un orden de prioridad entre ellos.

De este modo, derivada de la división expuesta anteriormente, puede utilizarse la clasificación ABC de los equipos:

Categoría A (críticos): Equipos esenciales para producción su fallos provoca la parada o la pérdida inmediata de la producción, o afectan seriamente a las condiciones de seguridad de la instalación.

Categoría B (importantes): Equipos importantes para la producción. Su fallos no provoca efectos inmediatos sobre la producción, pero, si el fallo, persiste, sus efectos si podrían resultar perjudiciales para la producción o para la seguridad de la instalación.

Categoría C (prescindibles): El resto de los equipos.

Veamos, en segundo lugar, qué criterios podemos utilizar para clasificar cada uno de los equipos en alguna de las categorías anteriores. Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

- Producción: Cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción clasificaremos el equipo como A, B o C.
- Calidad: El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.

- **Mantenimiento:** El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento; o por último, un equipo de muy bajo coste, que normalmente no dé problemas.
- **Seguridad y medio ambiente:** Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio ambiente o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

La tabla propuesta para valorar la criticidad de un equipo puede ser la siguiente:

**Tabla 2 Análisis de Criticidad**

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
<b>A CRÍTICO</b>	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
<b>B IMPORTANTE</b>	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
<b>C PRESCINDIBLE</b>	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

**Fuente: Organización y Gestión integral del mantenimiento.**

Luego el equipo será clasificado según el aspecto cuyo puntaje sea el más crítico o más alto.

### 3.1.6 Indicadores del mantenimiento

Desde que el ser humano nace ya está sometido a mediciones, en la vida empresarial pasa algo muy parecido. Debemos ser conscientes de que sólo podemos mejorar de forma objetiva aquello que se pueda medir. Por tanto, cualquier responsable técnico de una Empresa o de un Departamento de Mantenimiento que afronte un proceso de mejora serio y riguroso, debe plantearse profundamente la necesidad de medir en qué situación se encuentra ahora y cuál va a ser la forma de medir el éxito o fracaso de las nuevas medidas adoptadas.

Las empresas están habituadas históricamente a determinadas mediciones como las asociadas a la contabilidad, a los activos, al número de personas, entre otras. Lo mismo sucede con el mantenimiento entre los que se tiene;

#### 3.1.6.1 Confiabilidad

Se define como la probabilidad que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas.

De la definición anterior se desprende que un equipo, en cualquier instante de su vida, puede estar sólo en dos estados de funcionamiento o en falla (detenido), bajo condiciones externas desconocidas. Cabe destacar que no siempre es sencilla la identificación de los estados de funcionamiento y fallas de un equipo o sistema. Por lo tanto se utilizan modelos probabilísticos.

#### ➤ Distribución de Weibull

Esta distribución lleva el nombre de Waloddi Weibull, físico sueco, investigador y docente de la Universidad de Estocolmo, quien desde el año

1939 realizó estudios de la teoría estadística aplicada a la ruptura de materiales sólidos por fatiga. Sin embargo, fue en el año 1949 cuando publicó el trabajo denominado “Una representación estadística del análisis de fallas en sólidos”.

Weibull dedujo la ecuación que define la rata de fallas en cualquier etapa de la vida útil de un equipo expresándola como:

$$R(t) = \frac{k}{V^k} \cdot t^{(k-1)}, k > 0$$

Esta ecuación de la rata de falla es la más flexible porque permite especificar las etapas de: arranque, operación normal y desgaste, por las cuales atraviesa un equipo en el transcurso del tiempo. Los parámetros ‘K’ y ‘V’ son los coeficientes de la distribución de Weibull y representan:

k : El parámetro de la forma

V : El parámetro de posición, localización o edad característica de la falla.

A partir de la ecuación de la rata de fallas se deducen las funciones de Distribución de Weibull para el análisis de confiabilidad, como la función de densidad, la probabilidad de sobrevivencia, la distribución de la probabilidad de falla, sin embargo, para efectos de esta investigación se tomará en cuenta la probabilidad de sobrevivencia la cual es la siguiente:

$$P_s(t) = \exp \left[ -\frac{t^k}{V} \right]$$

La aplicación de la ecuación de Weibull está sujeta a la cuantificación de los coeficientes ‘V’ y ‘K’ y su magnitud depende de la serie histórica de los tiempos de operación del equipo; lo importante es obtener estos coeficientes pero dada la complejidad matemática involucrada en el cálculo no se pueden

representar por ecuaciones lineales básicas, lo cual conduce al uso de otro tipo de herramientas matemáticas más sofisticadas.

Para el propósito de este trabajo de grado se desarrolla el método Cohen porque utiliza todos los datos de la muestra y presenta una estructura matemática exacta en el proceso de cálculo de los coeficientes.

Obtención de los coeficientes de la Distribución de Weibull por el método Cohen:

En Noviembre de 1965 Clifford Cohen planteó en una publicación de la revista Technometrics varios métodos para obtener los coeficientes que caracterizan la distribución de Weibull que se diferencian por el uso total o parcial de las muestras de valores de tiempo. De los métodos planteados por Cohen el más importante es el que se aplica a las muestras completas porque se emplean en el cálculo todos los datos del muestreo. Para aplicar el método es necesario definir la función densidad de la distribución de Weibull:

$$f(t) = \frac{k}{V^k} \cdot t^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{V}\right)^k}$$

Donde: t, k, V > 0

El procedimiento para la estimación de los coeficientes de Weibull a partir de una muestra aleatoria compuesta por 'n' observaciones, consiste en aplicarle a la función de densidad el método de máxima verosimilitud de una muestra de n valores de una población de tipo continuo, por la relación:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; ) = f(x_1, A) \cdot f(x_2, A) \dots f(x_n, A)$$

Si los valores muestreados han sido dados y la función de verosimilitud 'L' es una función de una sola variable 'A', la solución de la ecuación consiste en estimar el valor desconocido A, es decir, el valor particular de la variable

para el cual 'L' asume el mayor valor y, como el 'log L' presenta un máximo al mismo valor A que 'L', la ecuación a resolver es:

$$\frac{\delta \text{Log} L}{\delta A} = 0$$

Donde:

A es la variable desconocida

L es la función de verosimilitud

La ecuación de verosimilitud para la muestra completa utilizando la distribución de Weibull es:

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n) = \pi \frac{k}{V} \cdot t^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{V}\right)^k}$$

Si tomamos el logaritmo de 'L' y derivamos con respecto a 'V' y 'k' es igualamos a cero, obtenemos la función que permite calcular los estimadores de máxima verosimilitud, representada por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\delta \text{Ln}[L(t_i, i = 1, \dots, n)]}{\delta V} = -\frac{n \cdot k}{V} + \frac{k}{V} \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{V}\right)^k = 0$$

$$\frac{\delta \text{Ln}[L(t_i, i = 1, \dots, n)]}{\delta k} = \frac{n}{k} - n \ln v + \sum_{i=1}^n \ln t_i + \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{V} \cdot \left(\frac{t_i}{V}\right)^k = 0$$

En este caso se tienen dos ecuaciones con dos incógnitas 'k' y 'V', en las cuales eliminando 'V' y simplificando se llega a:

$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \ln t_i = -\frac{1}{k} + \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot \ln t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^k}$$

$$V = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{t_i^k}{N} \right]^{\frac{1}{k}}$$

El coeficiente 'k' se estima por iteraciones sucesivas. Un método simple para resolverlo es obtener un par de valores 'k<sub>1</sub>' y 'k<sub>2</sub>' en un intervalo tal que: k<sub>1</sub><k<k<sub>2</sub>, y efectuar una interpolación lineal. Una estimación más exacta del parámetro se puede calcular utilizando el método de Newton-Raphson que es una técnica numérica que permita encontrar la raíz de una función F(x), y elimina el error asegurando el valor de 'k'. Bajo ciertas condiciones el método de Newton-Raphson establece que si k<sub>i</sub> es una aproximación de una raíz, una mejor estimación está dada por:

$$k_{i+1} = k_i - \frac{F(k_i)}{F'(k_i)}$$

$$F(k)=0$$

F'(k) es la derivada de F(k)

La función F(x) queda definida como:

$$F(k) = \sum (t_i)^k \cdot \ln t_i - \frac{1}{k} \sum t_i^k - \frac{1}{N} \sum \ln t_i \cdot t_i^k$$

$$F'(k) = \sum t_i^k \cdot (\ln t_i)^2 - \frac{1}{k} \sum \ln t_i \cdot t_i^k + \frac{1}{k^2} \sum t_i^k - \frac{1}{N} \sum \ln t_i \cdot \sum \ln t_i \cdot t_i^k$$

La precisión de la estimación de 'k' está sujeta a las limitaciones del computador y el número de iteraciones será tal que:

$$(k_{i+1} - k_i) < e$$

e: error de aproximación

El error de aproximación debe ser prefijado para limitar el proceso iterativo para el cálculo de la solución de la ecuación.

Una vez calculado el valor del coeficiente 'k' se calcula 'V', obteniéndose la estimación de máxima verosimilitud de los coeficientes de la distribución Weibull.

#### 3.1.6.2 Mantenibilidad

Es el concepto que caracteriza la facilidad del desarrollo de la intervención de mantenimiento o reparación, medida sobre la base de los tiempos de detención del equipo. La mayoría de las veces se asocia este concepto, en forma errónea, con el tiempo promedio de intervención, sin considerar la variabilidad presente en los tiempos de ejecución en todo el procedimiento de reparación. Entonces, se podría concluir que la mantenibilidad de un equipo queda definida por la distribución de probabilidad asociada a los tiempos de realización del mantenimiento.

Otra definición de mantenibilidad: Es la probabilidad de que una tarea dada de mantenimiento pueda ser ejecutada dentro de un intervalo dado (0,t) cuando el mantenimiento se realiza dentro de condiciones dadas y utilizando procedimientos y medios prescritos. O tiempo de no disponibilidad después de la falla.

#### ➤ Distribución Gumbell tipo I

En el año 1958 Emil Julius Gumbell, publicó un libro dedicado al desarrollo de la 'Estadística de los Extremos', en el cual deduce la distribución que permite describir el parámetro estadístico de mantenibilidad, conocida como la distribución de Gumbell tipo I, porque se ajusta al comportamiento de los tiempos de falla de un equipo en el rango de variación observado y obedece a la ley de efecto proporcionado.

La ecuación que define a la distribución de Gumbell Tipo I es:

$$P(T < t) = \text{Exp}[-e^{-a(t-u)}]$$

Donde:

$u$  es la media o edad característica para reparar

$1/a$  es la desviación standard de la distribución

$T$  tiempo real que se empleará en la próxima reparación

$t$  es el tiempo estimado para el próximo trabajo según la situación vigente

$u$  y  $a$  son los coeficientes de distribución de Gumbell Tipo I y definen la situación vigente.

El tiempo promedio de la duración de la falla o de reparación, a partir de los coeficientes de la ecuación de Gumbell, se define como:

$$TPPR = u + \frac{0.5778}{a}$$

Métodos de cálculo de los coeficientes de la Distribución de Gumbell Tipo I:

La aplicación de la ecuación Gumbell depende de la cuatificación de los coeficiente ' $u$ ' y ' $a$ ' los cuales dependen de la serie de histórica de los tiempos de reparación o de falla del equipo. Para la estimación de estos coeficientes las técnicas más importantes son la graficación y la regresión lineal.

Gumbell desarrolló una técnica de graficación que utiliza papel semi-logarítmico, llamado papel probabilístico de los valores extremos de Gumbell. Este método de graficación consiste en ordenar los tiempos de falla de menor a mayor, cuantificar el número de datos, estimar la probabilidad de falla para cada dato de tiempo según el método de orden ajustado, en base a la ecuación:

$$P_f = \frac{ORDINAL}{N + 1}$$

Donde:

N es el número de datos

ORDINAL es el valor asociado al ordenamiento creciente de los datos

Después de calcular las probabilidades asociadas a cada tiempo de falla se pueden formar los pares ordenados  $(t_i, P_{fi})$  que se trasladarán al papel Gumbell, en el cual en el eje de las abscisas se representan las probabilidades de falla en porcentaje y en el eje de las ordenadas los valores de los tiempos de falla. La unión de los puntos dará aproximadamente una recta, el inverso de la pendiente de esta recta es el valor del coeficiente 'a' y el valor de 'u' es el tiempo para el cual la probabilidad de falla es del 37% este valor de probabilidad corresponde al caso en el cual el tiempo se iguala al valor de la media sesgada.

$$\text{Para } t=u \quad P[T \leq u] = \text{Exp}(-1) = 0.37$$

El método de graficación no es preciso y tampoco es compatible con las técnicas de cálculo que utilizan los computadores, por estas razones se descarta y para los efectos de este trabajo de investigación se utiliza el método lineal.

- Método de regresión lineal para el cálculo de los coeficientes de la distribución de Gumbell Tipo I:

La linealización de la ecuación de Gumbell Tipo I se obtiene aplicando doble logaritmo natural a dicha ecuación y da como resultado:

$$\ln[-\ln P_f(t_i)] = -a \cdot t_i + a \cdot u$$

Si la comparamos con una ecuación lineal del tipo:

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + e_i$$

Se tiene que:

$$a_0 = a \cdot u$$

$$a_1 = -a$$

$$e_i = \text{error de estimación}$$

$$x_i = t_i$$

$$Y_i = \ln[-\ln P_f(t_i)]$$

### 3.1.6.3 Disponibilidad de componentes y sistemas

La disponibilidad corresponde a la aptitud de un sistema de estar en un estado para cumplir una función requerida, en condiciones dadas, en el instante requerido y por un intervalo de tiempo requerido, suponiendo que está asegurada la provisión de medios externos necesarios; es decir función correcta del equipo en el momento en que se le requiera.

$$\text{Disponibilidad esperada} = \frac{TPEF}{TPEF + Tr}$$

### 3.1.6.4 Análisis de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta importante para efectuar mejoras. En un Diagrama de Pareto las respuestas categorizadas se trazan en orden descendente de acuerdo con sus frecuencias y se combinan con la línea de porcentaje acumulado en la misma gráfica. Este diagrama permite identificar situaciones en las que se da el principio de Pareto.

El principio de Pareto consiste en que el 20% de las causas representan el 80% de los problemas en un entorno determinado. El diagrama de Pareto permite separar a lo “poco vital” de lo “mucho trivial”, lo que nos permite enfocarnos en las categorías importantes.

Esta herramienta importante puede ser usada para:

- Como técnica de análisis de problemas; de calidad pero también de problemas de la más diversa naturaleza. Las causas de defectos y las reclamaciones de clientes corresponden al área de calidad, pero las causas de las paradas de máquinas, las causas del absentismo laboral, la desigual distribución de los costos, la desigual distribución del consumo de energía, la desigual distribución de los trabajos de mantenimiento, las causas de los accidentes, etc. son también problemas que podrán ser abordados desde la perspectiva del Principio de Pareto.
- Para marcar objetivos concretos. Debemos obtener mejoras teniendo en cuenta que disponemos de recursos materiales y humanos limitados. Si el personal trata de mejorar de forma individual, sin unas directrices definidas, se derrochará gran cantidad de energía sin obtener resultados notables. Las dos o tres primeras barras de un diagrama de Pareto (en especial si las unidades del eje de ordenadas son monetarias), deben marcar los inmediatos objetivos a alcanzar, centrando esfuerzos en los temas prioritarios.
- Para evaluar los efectos de las mejoras. Marcados los objetivos y adoptadas las medidas correspondientes, la altura de las barras situadas más a la izquierda en el Diagrama de Pareto, deben disminuir y, si las medidas han resultado muy eficaces, en sucesivos Diagramas de Pareto las barras deben cambiar de orden, pasando a ser problemas menores lo que inicialmente era problemas principales. No obstante, si se efectúa un control frecuente de las consecuencias de la mejora, las variaciones del Diagrama de Pareto deben ser suaves y constantes.
- Como herramienta de comunicación. El uso habitual de los Diagramas de Pareto para las más diversas actividades, lo convierten en una poderosa arma de comunicación entre los

diferentes componentes de la empresa, pues es una representación sencilla de entender y, lo que es más importante, cuantificada, evitando peligrosos subjetivismos de “expertos”.

### **3.2 Definición de términos básicos**

Agua: Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.

Agua potable: Agua apta para el consumo humano.

Bomba hidráulica: es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente mecánica) a hidráulica, con la finalidad de mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Coagulación: Desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante. Esto ocurre a través de la neutralización de las cargas.

Confiabilidad: Probabilidad de que el equipo no falle mientras esté en funcionamiento.

Desinfección: Proceso físico o químico que mata o inactiva a los microorganismos tales como bacterias, virus y protozoarios.

Disponibilidad: Probabilidad de uso del equipo en ciertas condiciones.

Filtración: Se denomina filtración al proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

**Filtro:** Material poroso o dispositivo a través del cual se hace pasar un fluido para limpiarlo de impurezas o separar ciertas sustancias.

**Floc:** Unión de partículas coloides en suspensión.

**Floculación:** Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**Gestión del Mantenimiento:** Conjunto de trámites que se llevan a cabo para conservar o restablecer el estado de los equipos.

**Mantenibilidad:** Distribución de probabilidad asociada a los tiempos de realización del mantenimiento.

**Mantenimiento:** es el conjunto de acciones que permiten conservar un dispositivo o restablecerlo a un estado específico en el que se cumple un servicio determinado.

**Mantenimiento Correctivo:** Son las labores que se ejecutan para devolver el equipo a su operación normal luego de presentarse una falla.

**Mantenimiento Preventivo:** Son una serie de acciones que se llevan a cabo para prevenir las fallas o las roturas.

**Materia Orgánica:** composición de residuos animales o vegetales.

**Plan de Mantenimiento:** Modelo sistemático que se elabora para la realización del mantenimiento.

**Planta de tratamiento de agua potable:** Entidad encargada de acondicionar el agua para lograr una calidad cónsona con los consumidores.

**Programa de Mantenimiento:** Acciones organizadas que determinan en agenda a los encargados de ejecutar el mantenimiento, con sus respectivas piezas y repuestos.

Sedimentación: es el proceso mediante el cual la materia en suspensión (sedimento) en un líquido, termina en el fondo por su mayor densidad.

Sedimento: Materia que tras haber estado suspenda en un líquido se posa en el fondo recipiente que la contiene.

### **3.3 Glosario de términos básicos**

Manifold: Se denomina MANIFOLD a un bloque que posee integrado un circuito hidráulico, con sus correspondientes válvulas, ya sea adosadas o insertadas, y que responde a una o varias funciones específicas.

PEAD: Polietileno de alta densidad con el que se componen tuberías.

Acero: es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos

Lps: Litros por segundo, unidad de caudal.

Válvula mariposa: son unas válvulas muy versátiles, cuyo funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo. La operación es como en todas las válvulas rotativas rápida.

Ø (diámetro): Es una recta cualquiera (segmento) que pasa por el centro y que acaba en ambas direcciones en la circunferencia del círculo; esta línea recta también divide el círculo en dos partes iguales

Sifón: tubo doblemente acodado en que el agua detenida dentro de el impide la salida de los gases de la cañería al exterior

HP: Caballos de fuerza, unidad de potencia.

Dosificador: Es un aparato o medidor con el cual se administran dosis específicas de algún producto

Vertedero tipo “Crump”: Un vertedero de aforo es una estructura hidráulica en forma de pared, barrera o pantalla que se coloca perpendicularmente al flujo, interceptan la corriente y obligan a que se produzca una elevación del nivel de las aguas arriba del mismo. Un vertedero tipo Crump es un vertedero triangular que a medida que disminuye el caudal disminuye también disminuye la sección de forma que carga dicho caudal.

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1. Tipos de Investigación

Con respecto a la definición de la investigación descriptiva, **Arias** (2006) establece lo siguiente:

*“La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo ó grupo, con el fin de establecer su estructura ó comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p. 24).”*

De acuerdo a lo planteado por el autor, la investigación descriptiva se centra en la caracterización de las actividades que llevan a cabo un grupo ó individuo con la mayor precisión posible. Dado que la investigación del problema planteado consiste en primer lugar realizar un inventario de todos los equipos que formarán parte del sistema de mantenimiento integral, incluyendo todas sus características se está incurriendo en una descripción.

De acuerdo a los objetivos sugeridos en este estudio, puede afirmarse que corresponde a una investigación de tipo proyectiva, que según **Arias** (2006): “Se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. (p.25)”.

Ya que se desea alargar la vida útil de los equipos y tener planes de acción en el caso de roturas, para así garantizar el servicio continuo de agua potable. Lo cual cuenta como una propuesta de acción, tomando en cuenta

que el problema a resolver es la preservación de los equipos que allí se utilizan.

#### **4.2 Diseño de Investigación**

El diseño de la investigación es no experimental y también es la fase que se refiere a dónde y cuándo se recopila la información, así como a la amplitud de la misma, de modo que se pueda dar respuesta a la pregunta de investigación de la forma más idónea posible.

Para el caso de este estudio, se trata de una estrategia mixta, pues se desarrolla tanto el diseño documental, al momento de recoger toda la información pertinente a los equipos, a la conformación de las plantas de tratamiento y su funcionamiento. El diseño es de campo, pues los datos reales de los procedimientos y actividades que se realizan se toman de las instalaciones dónde se realizan servicios similares, lo que incluye prácticas de mantenimiento y prácticas operativas.

De esta manera, este estudio se fundamentará en un análisis de documentos escritos de las actividades que se realizan en la organización, libros de mantenimiento, libros de mecánica de los fluidos, manuales de equipos, la recolección de datos en diversas plantas de tratamiento y recolección de datos en el taller central donde se realizan la mayoría de las prácticas de mantenimiento de los equipos. Con el fin de dar solución al problema de manera idónea.

#### **4.3 Población y Muestra**

Una población la conforman un conjunto de seres u objetos con características en común y que representan el objeto principal de estudio. Esta definición se corresponde claramente con lo planteado por Pérez (2002) quien señala:

*“La población es el conjunto finito o infinito de unidades de análisis, individuos, objetos o elementos que se someten a estudio, pertenecen a la investigación y son la base fundamental para obtener la información” (p.75).*

Para el caso pertinente a esta investigación, la población son los equipos que se proyectan en la Planta de Tratamiento de Agua Potable, Acueducto Oeste.

Mientras que la muestra se define por Gómez (2006) quien apunta “...una muestra es una parte de la población o universo a estudiar...” (p. 109). Para este caso en particular la muestra coincide con la población.

#### **4.4 Técnicas de Recolección de Datos**

Dentro de cualquier investigación que se realice, es necesaria la aplicación de ciertas técnicas e instrumentos que le faciliten al investigador recopilar de manera precisa, detallada y segura, los datos e información que sea de su interés.

En este sentido, según el contexto natural, Hurtado (2001), define la recolección de datos de la siguiente manera:

*“Es un procedimiento propio de los diseños llamados de campo cuyos propósitos pueden ser describir, analizar, comparar, explicar, entre otros, ciertos eventos por medio de datos de fuentes directas, por lo cual la estrategia de recolección de datos está dirigida a ubicar el evento en su ambiente natural y determinar la viabilidad de la observación directa.” (p.162).*

Entre las técnicas utilizadas en esta investigación se tiene: el análisis documental, la observación directa y las entrevistas estructuradas y algunas no estructuradas.

#### 4.4.1 Análisis Documental

El análisis documental es una forma de investigación técnica, un conjunto de operaciones intelectuales, que buscan describir y representar los documentos de forma unificada y sistemática para facilitar su recuperación. Comprende el procesamiento analítico – sintético, que a su vez, incluye la descripción bibliográfica y general de la fuente (impresas, audio visuales ó electrónicas), la clasificación, indicación, anotación, extracción, traducción y la confección de reseñas.

Para el análisis documental se utilizaron las siguientes referencias:

Consultas a documentos internos de Hidrobolívar, en los que se pueden mencionar, las estructuras organizativas, las prácticas operativas, las prácticas de mantenimiento, entre otros.

Consultas a libros de mecánica de los fluidos, libros de mantenimiento y trabajos de grados relacionados con el tema, como material académico.

#### 4.4.2 Observación directa

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho ó caso, para tomar información y registrarla para su posterior análisis.

En relación a la observación, **Arias** (2006) señala:

*“La observación es una técnica que consiste en visualizar ó captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno ó situación que se produzca en la naturaleza ó en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación.” (p.69).*

La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

Entre los tipos de observaciones existentes, se hizo énfasis en la observación estructurada y no estructurada. La primera se ejecuta en función

de los objetivos específicos, utilizando una guía diseñada previamente, en la que se especifican los elementos que serán observados. Mientras que en la segunda se aplica sin una guía prediseñada que especifique cada uno de los aspectos que deben ser observados.

Las observaciones realizadas en esta investigación se efectuaron en las plantas de tratamiento, en las áreas del taller central destinadas al mantenimiento.

#### **4.4.3 Entrevistas cualitativas**

Las entrevistas cualitativas se dividen estructuradas, semiestructuradas y abiertas. En las primeras, el entrevistador realiza su labor basándose en una guía de preguntas específicas y se sujeta exclusivamente a esta. Las entrevistas semiestructuradas se basan en la guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información sobre los temas específicos que vayan apareciendo durante la entrevista. En este caso en particular el tipo de entrevista que más se usó en la entrevista semiestructurada.

#### **4.4.4 Recursos**

- Computadora personal.
- Memoria con puerto USB.
- Cuaderno de anotaciones. Formas impresas para la recolección de información.
- Calculadora.

### **4.5 Procedimiento**

1. Realizar diagnóstico de la situación actual de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable. Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres.
  - Entrevistar al personal de mantenimiento de las otras plantas de tratamiento.

- Registrar la forma en que realizan la Gestión de Mantenimiento.
  - Verificar el tipo de planta de tratamiento a construir.
2. Identificar los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, Municipio Heres.
    - Realizar una lista de los equipos a instalar en la planta de tratamiento.
    - Clasificar los equipos de la lista por afinidad de funciones.
    - Identificarlos con la respectiva codificación utilizada por la empresa.
    - Crear fichas para los equipos.
  3. Llevar a cabo un análisis de fallas y de criticidad a los equipos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar, municipio Heres.
    - Revisar la literatura técnica de los equipos para revisar los componentes que lo conforman y hacer un inventario de las posibles fallas que pueden ocurrir.
    - A partir de lo anterior determinar cuáles equipos son los más críticos.
  4. Realizar programa de mantenimiento preventivo a los equipos críticos de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, Ciudad Bolívar municipio Heres.
    - Al tener la lista de los equipos críticos se procede a realizar el plan de mantenimiento preventivo con la ayuda del manual de mantenimiento del equipo y las recomendaciones del fabricante.
  5. Desarrollar estrategias de mejora para el sistema de gestión de mantenimiento.

- Analizar cada uno de los inconvenientes de la realización del trabajo de investigación y de sus ventajas, además de investigar su relación con el entorno, con la finalidad de proponer estrategias para su mejora.

## **CAPÍTULO V**

### **SITUACIÓN ACTUAL**

#### **5.1 Breve descripción del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, Acueducto Oeste, municipio Heres.**

Para la realización del mantenimiento de los equipos que conforman parte del proceso de tratamiento de agua, es necesaria la descripción del proceso productivo que se planea llevar a cabo en la planta que es objeto de estudio.

##### **5.1.1 Captación**

Es el proceso preliminar para la potabilización del agua es el transporte del agua hasta la planta, la captación en esta planta se realiza mediante una balsa-toma ubicada, sobre el río Orinoco, la cual esta compuesta por 6 bombas de 125 lps, que bombean a través de 6 mangueras de caucho conectadas a un manifold, que luego se conecta a una tubería de acero de Ø28", este caudal es finalmente transmitido hasta la planta a través de una tubería de PEAD de Ø20" y acero de Ø20" y Ø28".

##### **5.1.2 Entrada y mezcla rápida**

En el proyecto se propone colocar una tubería de entrada de Ø30" a partir del límite con la aducción de agua cruda Ø28", para una regulación del caudal de entrada a la planta se propone la instalación de una válvula mariposa del mismo diámetro.

La tubería termina en la tanquilla de mezcla rápida de 2,0 m de ancho, diseñada para disipar la energía del caudal entrante y aquietarlo previo a su paso sobre un vertedero tipo "Crump" para crear un salto que permita la incorporación del coagulante rápidamente en todo el cuerpo del agua

entrante, de una manera uniforme, mediante el empleo de una canaleta de distribución de solución de coagulante a todo el ancho del canal.

El vertedero Crump fue desarrollado en Inglaterra para la medición de caudales y tiene la particularidad que permite hasta un 80% de sumergencia, manteniendo una relación matemática conocida entre el tirante registrado y el caudal. Se propone colocar una mira graduada aguas arriba para permitir el aforo directo, así como un instrumento electrónico de indicación y totalización del caudal con error de  $\pm 1,0\%$  que permite este vertedero.

Se instalará una flauta para la dosificación de cloro–PRE así como una facilidad de aplicación de cal-PRE.

#### 5.1.3 Floculación

Desde la tanquilla de mezcla rápida, el caudal de agua coagulada será distribuido entre dos módulos de floculación y sedimentación de 300 lps de capacidad cada uno, mediante sendas tuberías de Ø24" de diámetro controladas por válvulas mariposa de operación manual. Cada módulo contará con tres celdas de floculación-sedimentación integradas con compuertas de entrada a cada una.

Para la formación de las partículas o floc que se separarán por sedimentación, se proponen floculadores del tipo hidráulico.

Los floculadores hidráulicos consisten en varias barreras perforadas, cada barrera contando con un sistema de orificios que generan una pérdida de carga exactamente proporcional al nivel de disipación de energía expresado en términos "G".

Las tres barreras perforadas para este caso han sido diseñadas para un nivel de declinante de "G" entre 60/s a 20/s, con un tiempo de retención total de 20 minutos con el fin de formar un floc adecuado para la sedimentación convencional.

#### 5.1.4 Sedimentación

Desde los compartimientos de floculación, el agua entra al compartimiento de sedimentación.

Se ha previsto un bloque de tres sedimentadores en cada módulo de 300 lps, cada uno de 24,0 m de largo por 9,0 m de ancho y con 3,0 m de profundidad de agua en la entrada y 3,5 m de agua al final adyacente al canal de descarga de los lodos. El desnivel del fondo posee una pendiente de 1,5% suficiente para permitir la limpieza hidráulica del lodo.

La última pantalla del floculador tiene la doble función de distribuir el agua de entrada así como permitir la distribución del agua durante el lavado a todo el ancho del piso.

Cada sedimentador tendrá un canal de drenaje a todo lo ancho, perpendicular al eje principal del mismo controlado por una compuerta de descarga de 12" x 12" de control manual. Dicha compuerta descargará a una galería de lavado de sedimentadores.

Cada vertedero descargará hacia la galería de agua sedimentada, comunicando los tres sedimentadores. Dicha galería distribuirá el caudal enviado a los filtros.

#### 5.1.5 Filtración

El agua sedimentada es distribuida por la galería central a todo lo largo del grupo de filtros. Dicha galería ocupa la "planta alta" del corredor central, la distribución de agua a cada filtro es realizada mediante una válvula tipo compuerta.

El agua filtrada será recogida por un "baúl" a lo largo de cada filtro que comunica con el manifold de agua clara. Dentro del bloque de los filtros y anexo a la entrada de la galería de aguas sedimentadas, se ha previsto un

aliviadero sifónico cuya función es la de evitar la inundación de los filtros en caso de su obstrucción.

El sifón comunica la galería de agua sedimentada con la de lavado mediante un conducto vertical, que pasará a una piscina en la parte inferior. Cuando inicia el funcionamiento, el agua cae como cortina en flujo tipo vertedero, al chocar con la superficie de la piscina se incorporan burbujas de aire que son arrastradas fuera de la cámara del sifón, reduciendo la presión dentro de la misma y aumentando el caudal que cae, que aumenta el aire extraído. De esta manera se arranca en forma acelerada el sifón, en cuestión de segundos, siempre que el labio superior de la entrada del sifón esté sumergido.

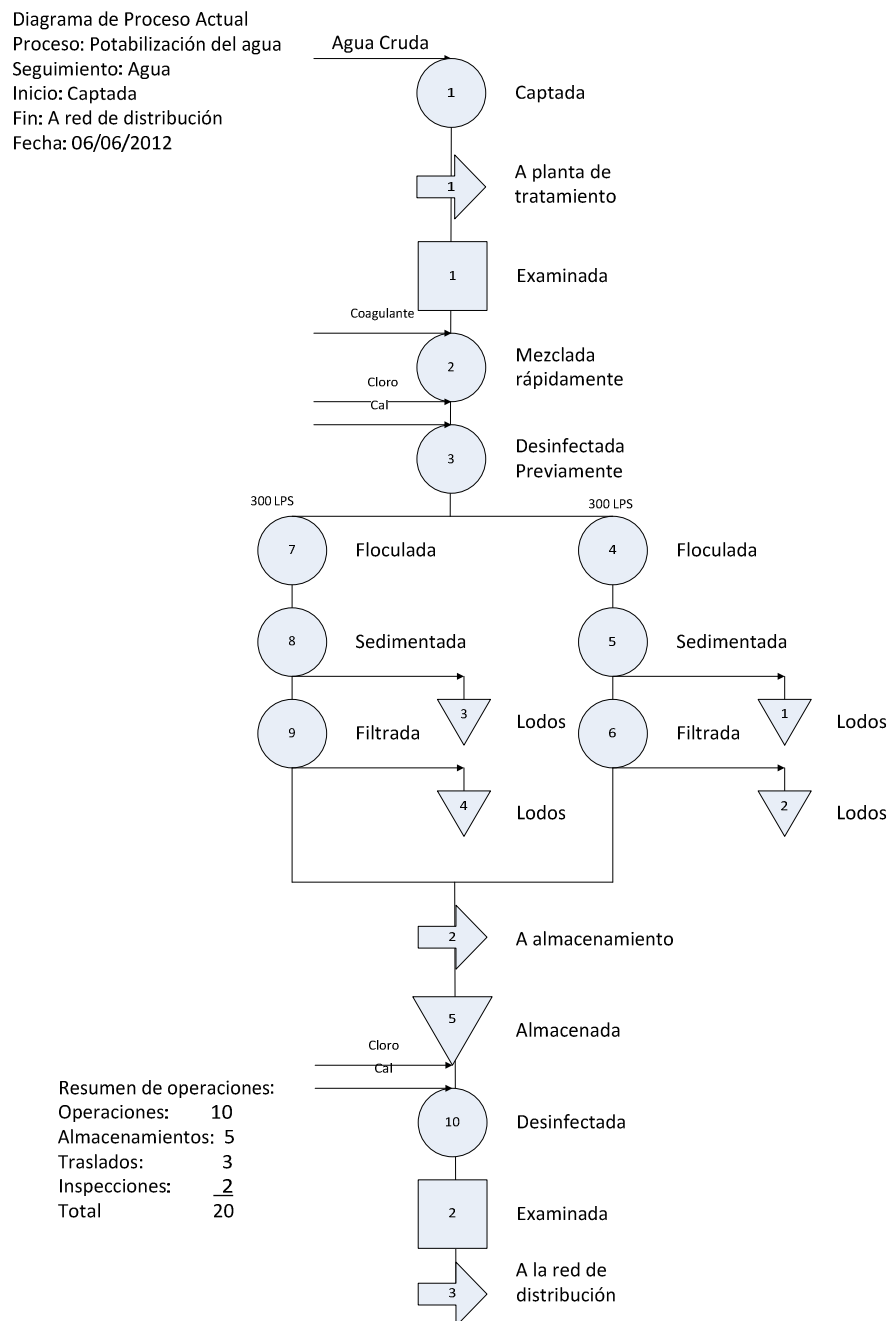
Al reducir el caudal, cae el nivel de agua por debajo del labio superior, lo cual admite aire y reduce el caudal de manera que el sifón se autorregula con pequeños cambios del tirante superior. Antes de que se inicie el funcionamiento del sifón el operador debe haber lavado los filtros y así evitar el desperdicio de agua.

#### 5.1.6 Almacenamiento

El tanque que se proyecta construir en la planta para el almacenamiento de agua clara, posee un diseño cúbico y de capacidad de 750 m<sup>3</sup> de agua.

La entrada de agua filtrada contará con un vertedero de 4,0 m de ancho, de cresta suficiente para mantener 1,0 m de agua sobre la arena. El tanque contará con una descarga de lavado de diámetro de 10" con válvula de compuerta. Donde 6 bombas de suministro de agua clara se encargarán de llenar el tanque, mientras que otras 2 bombas serán las responsables del suministro a la red de distribución. Mientras que los mismos dosificadores realizan la desinfección pos y del suministro de cal pos.

La descripción del proceso se puede resumir en el siguiente diagrama de operaciones, ver figura 4;



**Figura 4 Diagrama de Proceso Actual de la Planta de Tratamiento de agua Potable de 600 Ips en Ciudad Bolívar, Municipio Heres**

**Fuente: Autor**

## **5.2 Listado de Equipos a funcionar en la planta**

El listado de equipos consta de doscientos cuarenta seis (246) modelos de equipos(apéndice 1), este listado agrupa los equipos en el orden en que las operaciones se realizan, el cual puede verse en el diagrama de operaciones de la planta de tratamiento (ver figura 4).

## **5.3 Situación Actual de la Gerencia de Mantenimiento**

Cuando se realiza un Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento en un sector particular de una empresa, se debe tener como referencia las políticas de mantenimiento que dicha empresa posee, además de obtener la información sobre como se traducen las políticas a su aplicación. Por lo tanto, es imprescindible describir la situación actual de la Gerencia de Mantenimiento.

Como parte de la historia de la Gerencia de Mantenimiento se tiene que es una de las gerencias más recientes. Apenas comienza su formación en el 2010, mientras que la estructura organizativa definitiva se aprueba en diciembre de 2011.

La causa principal de su creación viene dada por las nuevas políticas de mejora continua, la cual comienza desde que en 2007 Hidrobolívar se orienta a adecuar su gestión operativa tomando bajo la Norma ISO 9001:2000. Sin embargo, la envergadura de la empresa es tal, que se necesitan varios años para la adecuación de cada una de las plantas que conforman la empresa y así poder lograr la certificación de todos los procesos que allí se realizan.

La Norma ISO 9001:2000 se basa fundamentalmente en la certificación de los procesos de producción, por lo tanto para garantizar la calidad del servicio es necesario asegurar el funcionamiento de los equipos que operan en las plantas, debido a esto, es necesario darle al mantenimiento la misma importancia que se le brinda a producción.

Ya establecido a nivel general el estado de la Gerencia de Mantenimiento y una vez realizadas las entrevistas, se procede a presentar la situación actual de la gerencia con mayor detalle en 3 aspectos fundamentales;

#### 5.3.1 Aspecto Organizativo

En este aspecto se describe todo lo relativo a la administración del mantenimiento y en la manera que la gerencia se compone para llevar a cabo sus objetivos.

La estructura Organizativa de la Gerencia se presenta en la figura 5, en esta se puede observar que luego del Gerente se encuentra el planificador de mantenimiento, la persona que ocupa este cargo es responsable de controlar la gestión de las actividades de mantenimiento correctivo y predictivo del Acueducto y de las redes de distribución de agua, a los fines de garantizar la confiabilidad, disponibilidad, operatividad y continuidad del suministro de agua potable.

En esta estructura se puede observar que existen tres divisiones, las cuales tienen por objetivo lo siguiente:

- La división de confiabilidad operacional es responsable principalmente del mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos eléctricos y mecánicos encontrados en las plantas de tratamiento de todo el estado Bolívar, sin embargo dependiendo de la envergadura de las fallas pueden realizar el mantenimiento correctivo
- La división de taller central se encarga solo del mantenimiento correctivo de los equipos eléctricos y mecánicos de las plantas de tratamiento de agua potable de todo el estado bolívar, que requieran un mantenimiento mayor.
- La división de dosificación y desinfección, está comprometida con el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de todos los

equipos relacionados con los dosificadores de cal y con los cloradores.



**Figura 5 Estructura Organizativa de la Gerencia de Mantenimiento**

**Fuente: Gerencia General de Proyecto y Construcción**

En cuanto a las políticas de mantenimiento se puede decir en líneas generales, desde la certificación ISO, se están adoptando el mantenimiento preventivo y predictivo justamente en las plantas que han adquirido la certificación, ya que antes en su mayoría se realizaba mantenimiento correctivo, por parte del taller central en las instalaciones de la planta Macagua en San Félix (actual ubicación de la Gerencia de Mantenimiento).

Ya que no todas las plantas se encuentran bajo esta certificación, se tiene que dependiendo de la planta existe una política de mantenimiento diferente,

debido a esto, se puede decir, que hay independencia en las políticas de mantenimiento que se aplican, en otras palabras las políticas de mantenimiento son descentralizadas.

No obstante, las prácticas de mantenimiento relacionadas con correcciones es responsabilidad del Taller Central, es decir, el mantenimiento correctivo es centralizado, lo que conlleva a que cada equipo que deje de funcionar sea trasladado a la planta de Macagua en San Félix. Sin embargo, el Taller Central se limita a reparar motores y bombas.

Por otro lado, no existe una política de remplazo de equipos

#### 5.3.2 Aspecto Técnico

En este apartado se procede a describir la manera en que se llevan a cado los distintos tipos de mantenimiento en las plantas;

- En cuanto al mantenimiento preventivo, este se realiza a través de las prácticas operativas rutinarias, en cada una de las plantas. Se encuentra a cargo de los operadores de planta.

En las plantas que poseen la certificación ISO 9001:2000 existe una práctica basada en el mantenimiento preventivo donde se realiza un listado sobre el estado de los equipos denominados por ellos críticos.

- El mantenimiento predictivo, es limitado debido a las siguientes razones;
  - Cuando se realiza la inspección y efectivamente suceda una alteración de la temperatura de operación, vibración o sonido, estos trabajadores encargados del mantenimiento no poseen las herramientas para realizar la mayoría de los mantenimientos correctivos, se debe realizar una orden de trabajo y esperar la repuesta por parte del Taller Central.

- Además, los planes de mantenimiento predictivo que incluye inspecciones y diagnósticos de los equipos esto se realiza solo en las plantas que poseen la certificación.

Por lo tanto, este tipo de mantenimiento, sigue en sus primeros pasos para su implementación definitiva.

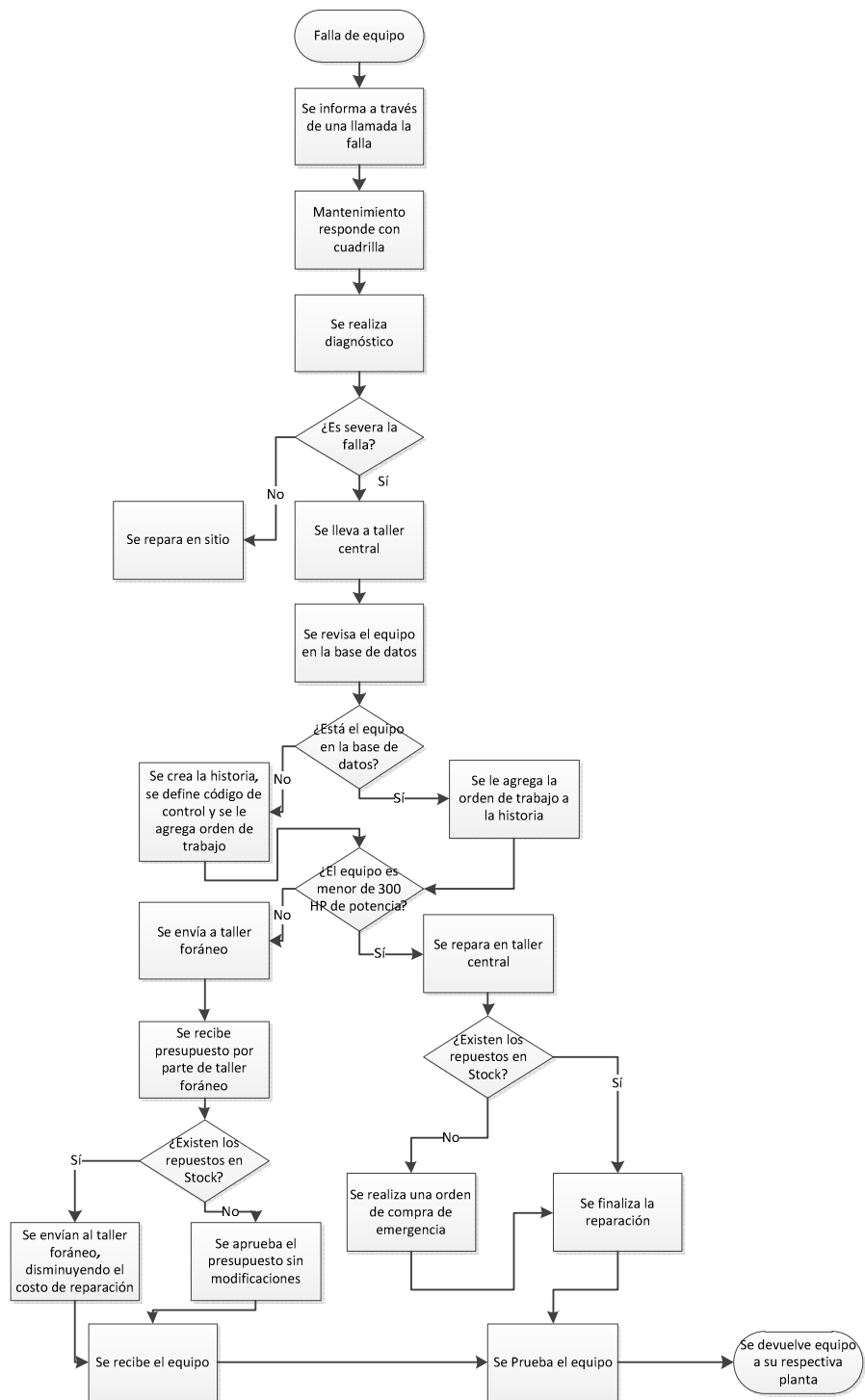
- En materia de mantenimiento correctivo, como se mencionó anteriormente este se realiza en Taller Central, sin embargo, existe un protocolo informal que se ilustra en la figura 6, entre las cosas que se puede mencionar del protocolo, es que los equipos empiezan a tener historia cuando existe una falla severa, mientras se pueda reparar en sitio, el único registro que existe es de las actividades ejecutadas mas no del equipo.

La razón por la cual se envía los equipos al taller foráneo aunque se tengan los repuestos es que el taller no posee las herramientas o los equipos para el manejo de los motores y algunas piezas, en otras palabras, no posee grúas o polipastos que permitan el traslado de los equipos y que se coloquen en posiciones cómodas para realizar la reparación. Esto limita al taller a tratar equipos de menos de 300 HP de potencia como es el caso las de bombas y los motores.

No obstante, no son la mayoría de los equipos que se utilizan en todo el Estado Bolívar que ameritan mantenimiento exceden los 300 HP de potencia, cabe mencionar que las plantas de tratamiento principales poseen sus propias grúas para el traslado de los equipos en el caso que se requiera su mantenimiento. Esto trae como consecuencia el aumento de los costos de reparación por cada equipo que se envía al taller foráneo.

No se lleva un control a través de indicadores. Aunque cuando se realiza el reporte de fallas, en el formulario se puede observar que poseen toda la información para llevar el control a través de indicadores.

Además, se lleva una historia del equipo paralelo a la que se lleva en la planta, en otras palabras los equipos poseen doble codificación.



**Figura 6 Flujo de la Gestión del Mantenimiento Correctivo**

**Fuente: Autor**

Es necesario aclarar, que el flujo presentado en la figura 6 es sobre los motores y las bombas, ya que como se aclaró en el aspecto organizativo el taller central se encarga de esos equipos solamente. Los equipos relacionados con la dosificación y con la instalación eléctrica se les realiza el mantenimiento correctivo en sitio.

### 5.3.3 Situación de cada planta

Como se mencionó anteriormente, los planes de mantenimiento preventivo existen como una rutina fundamental en las plantas que poseen la certificación, incluso se tiene la previsión de tener una cuadrilla de guardia en la planta para resolver cualquier imprevisto menor.

Todos los equipos se encuentran codificados según lo que se establece en la ISO 9001:2000 y se tiene un plan de mantenimiento, de acuerdo con los resultados de los indicadores de caudal y de disponibilidad.

En cualquier caso que la falla sea de mayor alcance al que las cuadrillas puedan manejar, se generan órdenes de trabajo para enviar dichos equipos a taller central.

En el resto de las plantas que no están certificadas, los operadores se encuentran en la misma sin mas que el apoyo de una cuadrillas de mantenimiento para solventar problemas menores que se puedan presentar.

Sin embargo, existen prácticas operativas que consisten en cambiarle el aceite a los motores, la limpieza de los filtros, limpieza de dosificadores, que se pueden definir como prácticas de mantenimiento preventivo.

Es necesario mencionar que lo explicado anteriormente no aplica en las zonas rurales, en las balsas toma, en las torres toma, es decir en las etapas de captación del tratamiento de agua y las zonas alejadas.

#### 5.3.4 Resumen de la situación actual

Los 3 aspectos explicados anteriormente se pueden resumir en un listado de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas con el fin de proponer estrategias de mejora de la gestión de mantenimiento. Por lo tanto, se presenta a continuación el listado:

##### 5.3.4.1 Fortalezas

- Adopción de medidas de mejora continua.
- Prácticas operativas estrechamente relacionadas con el mantenimiento preventivo y predictivo, en las plantas que poseen la certificación ISO.
- Formularios completos que sirven como herramienta estadística.
- Estructura Organizativa orientada a la realización de los tres tipos de mantenimiento.

##### 5.3.4.2 Debilidades

- Existe una doble codificación de los equipos.
- El historial de fallas de los equipos se realiza de manera separada.
- No se lleva el control estadístico de las fallas de los equipos.
- No existe control alguno del mantenimiento que se realiza en las plantas que no poseen la certificación ISO.
- Falta de herramientas para el manejo de los equipos en Taller Central.
- No existen políticas de remplazo de equipos.
- La parte de captación de las diversas plantas se encuentra sin mantenimiento.

##### 5.3.4.3 Oportunidades

- La certificación por parte de la ISO 9001:2000.
- La adopción de políticas de mejora continua por parte de la empresa.
- Existen diversos software en el mercado para llevar el control de la gestión de mantenimiento.

- Las políticas de remplazo de activos que existen en otras gerencias.
- Existe una gerencia de tecnología e información con personas capacitadas para el desarrollo de software.

#### 5.3.4.4 Amenazas

- Los altos costos del mantenimiento correctivo por parte de foráneos.
- La falta de presupuesto asignado a la gerencia de mantenimiento.
- Las constantes emergencias en todo el estado por fallas en las bombas.
- Los equipos críticos en su mayoría son importados.

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS**

#### **6.1 Análisis de Criticidad**

Siguiendo con la línea presentada en el marco teórico se procedió a analizar cada uno de los equipos involucrados en la planta de tratamiento, según su impacto en la producción, en la seguridad, en la calidad y mantenimiento. Por supuesto, el análisis se realizó bajo la supervisión de expertos a los cuales se les consultó de forma constante sobre los equipos (apéndice 2).

#### **6.2 Diseño de Indicadores**

Para este diseño se incluyen los indicadores que las plantas certificadas ya tienen como rutina, además para lograr adicionar los nuevos indicadores que a continuación se proponen se hace uso de cada uno de los documentos que se generan en HIDROBOLÍVAR, los cuales se especifican a medida que se despliega cada uno.

Por lo tanto la gestión de mantenimiento con indicadores se plantea con los siguientes:

##### **6.2.1 Mediciones Rutinarias**

En este apartado se explican algunos de los controles de indicadores que ya se llevan como rutina en las plantas certificadas. Las mediciones rutinarias de temperatura, tensión, corriente y vibraciones, permiten un mantenimiento predictivo confiable, ya que cada uno representa el esfuerzo con el que el equipo opera, a continuación se desarrolla la manera en que se plantea llevar los mismos:

#### 6.2.1.1 Temperatura

Como ya se tiene rutina se propone continuar con el registro de la temperatura de operación de los motores, las cuales serán tomadas en los puntos de conexión de corriente eléctrica, para esto existe el formulario F-GO-089 cd (ver anexo en carpeta Formularios HB, archivo F-GO-089. Rev.1), el cual abarca a su vez el registro de la temperatura de cada uno de los tableros.

Tomando en cuenta la experiencia en cada una de las plantas, con lecturas superiores a 75°C se empieza a programar un ajuste de tornillería y la limpieza de cables sulfatados ya que estas son las principales causas de los aumentos de temperatura por el falso contacto que existe entre las conexiones eléctricas, si el motor sigue presentado temperaturas superiores a la indicada, se programa una orden de trabajo para su investigación.

#### 6.2.1.2 Tensión y Corriente Eléctrica

Para el caso de los indicadores de corrientes y de tensión para los conjuntos motor-bomba, se llevan juntos en el mismo formulario de código F-GO-007 (cd anexo, carpeta Formularios HB archivo F-GO-007 Formulario Inspección de Equipos Bombeo Rev. 3), en el cual se contempla incluso el nivel de aceite para su cambio.

Para los indicadores de Tensión y corriente eléctrica, se tiene un procedimiento diferente, el cual consiste en hacer mediciones rutinarias en las conexiones eléctricas al motor y en las conexiones del centro de control de motores, calcular el promedio para cada conjunto y luego si se observa una desviación por exceso o por defecto de un 10% con respecto al promedio, se consulta el indicador de temperatura y se ajusta la tornillería, luego de persistir las alteraciones, se programa una revisión más profunda del equipo.

#### 6.2.1.3 Vibraciones

Para este indicador se tiene el formulario F-GO-061 (cd anexo carpeta Formularios de HB, archivo F-GO-061 - Rev. 5), que tiene el propósito de predecir el cambio adecuado de los rodamientos de los motores de las bombas, que según la experiencia de los trabajadores de Hidrobolívar se debe programar los cambios cuando se observen registros iguales o superiores a los 18 mm/s.

#### 6.2.2 Indicadores de la Gestión de Mantenimiento

Para indicar el estado de la gestión de mantenimiento se proponen la confiabilidad, la mantenibilidad, disponibilidad y el seguimiento de las causas y los efectos de las fallas en la planta de tratamiento. Para esto se desarrollaron una serie de herramientas en el software Excel 2010, que luego se migró a una hoja de cálculo basada en un programa de Open Office (software libre) acorde con los cambios tecnológicos que la empresa ha experimentado. Esto con la finalidad de que la planta pueda llevar el estudio de forma autónoma sin necesidad de comprar licencias de nuevos programas.

A continuación se desarrolla cada uno de los indicadores con sus respectivas herramientas y origen:

##### 6.2.2.1 Seguimiento de Causas y Efectos

Para llevar este seguimiento existe el formulario de reporte de fallas de código F-GO-51 (cd anexo carpeta Formularios Mantto.), el cual se utiliza constantemente en todas las plantas certificadas cada vez que un equipo presenta falla, ya que este reporte genera las órdenes de trabajo.

La finalidad de este reporte es básicamente llevar el seguimiento de la frecuencia de las causas, los efectos y su relación, con la finalidad de realizar el análisis de Pareto de forma automatizada, existe la página dónde se introducen los datos, entretanto la página que se imprime son los resultados

expresados en gráficas, mientras que se identifican con barras en diagonal sobre las causas que deben ser estudiadas, ya que generan el 80% de los problemas.

Esta herramienta se encuentra en el cd apéndice, con su respectivo manual incluido. Igual se muestra las capturas de pantalla de la herramienta mientras se utiliza:

CAUSAS			
Causas	Frecuencia	Frecuencia relativa	Porcentaje de las causas
Error de Proceso	8	61,54	61,54
Error de Montaje	4	30,77	92,31
Mal Diseño	1	7,69	100,00
Error Operativo			100,00
Mal Diseño			100,00
Error de Mantenimiento			100,00
Otro. Especifique			100,00
Mala selección de Material			100,00
Defecto de Fabricación			100,00
Ambientales			100,00
Valor fijo por fórmula	Procesar		

Introducir en esta columna la causa que generó este reporte de fallas, en el caso que nunca haya sucedido, se marca con el número 1, en el caso que el campo este lleno se colocará el número siguiente al que se encuentra registrado

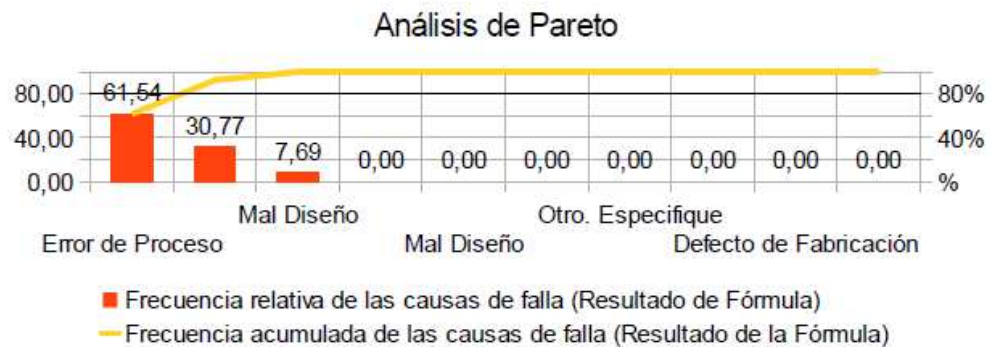
ESTADO DEL EQUIPO			
Estado	Frecuencia	Frecuencia relativa	Porcentaje de las causas
Funciona Insatisfactoriamente	1	100,00	
Funcionamiento Poco Confiable			
Completamente Inservible			
Valor fijo por fórmula	1		

Introducir en esta columna el estado en el que quedó el equipo luego que ocurriera la falla, en el caso que nunca haya sucedido, se marca con el número 1, en el caso que el campo este lleno se colocará el número siguiente al que se encuentra registrado

**Figura 7 Tablas a llenar para el seguimiento de las Causas y el Estado del Equipo**

**Fuente: Autor**

Mientras que en la Figura 7 se muestra parte del llenado de la tabla en la Figura 8 se muestra una parte del reporte con sus debidas notas para facilitar la interpretación de la información y así con la toma de decisiones.



NOTA: EL ANÁLISIS SE REALIZA CON LA INTERSECCIÓN DEL POLÍGONO DE FRECUENCIA ACUMULADA (REPRESENTADO POR LA LÍNEA AMARILLA) CON EL CORTE HORIZONTAL EN EL 80% (REPRESENTADO POR LA LÍNEA NEGRA). TODAS LAS CAUSAS QUE QUEDEN DEL LADO IZQUIERDO DE LA INTERSECCIÓN SON DIGNAS DE INVESTIGACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE FALLAS

**Figura 8 Fragmento del informe de la herramienta desarrollada**

**Fuente: Autor**

#### 6.2.2.2 Confiabilidad

Para a confiabilidad existe a su vez otro instrumento desarrollado también en Excel y luego migrado a software libre que posee una estructura como la utilizada en el marco teórico, la función consta de una regresión Newton-Raphson para el cálculo de 'k', con iteraciones sucesivas, para luego hacer el cálculo de 'V' y por último la distribución de Weibull, que expresa la probabilidad de que el equipo funcione normalmente en las horas de operación dispuestas para el mismo.

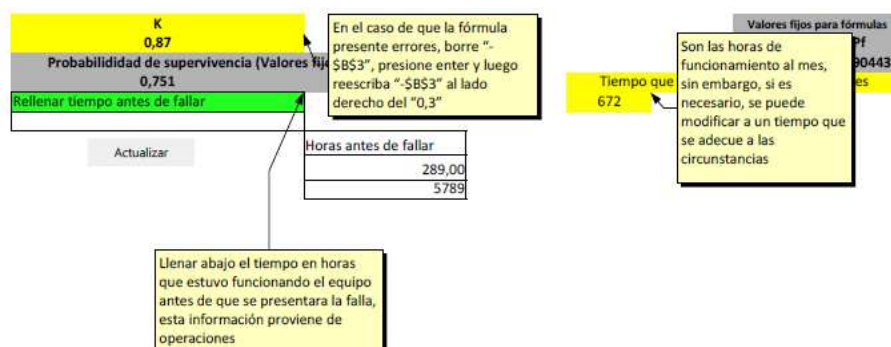
De la aplicación del método Cohen expuesto en el marco teórico se deduce que se puede manejar desde tres datos en adelante, lo cual permite el procesamiento de un bajo volumen de información; pero según lo desarrollado por Cohen para muestras entre 2 y 4 datos el intervalo de confianza del parámetro 'k' indica que el resultado no es necesariamente coherente con la muestra y solo dependerá del coeficiente de localización 'V'. Sin embargo, cuando se inicia un análisis de los datos del tiempo de operación y éstos son pocos, el equipo deberá estar en la etapa de arranque

o cercano a la operación normal , lo que implica que el valor de 'k' obtenido es lógico si se encuentra en el intervalo  $0 < k < 1$ ; a medida que aumenta el número de datos el valor de 'k' se ajusta más a la distribución de Weibull, de tal forma que más de cuatro datos darán siempre una información lógica y ajustada al modelo.

Los beneficios del seguimiento de la confiabilidad son principalmente dos; uno relacionado con el conocimiento que se adquiere en cuanto al equipo dentro ciclo de vida real del equipo contribuyendo o permitiendo así prever la necesidad del remplazo del equipo y el otro beneficio relacionado con el conocimiento de la confiabilidad del equipo, esto brinda información tanto a los operarios como los encargados del mantenimiento sobre la atención que deben establecer sobre el equipo en particular.

Se pueden tener beneficios adicionales si se lleva el seguimiento a todos los equipos, ya que se puede obtener la confiabilidad de la planta y hacer comparaciones anuales sobre el mejoramiento de la gestión general.

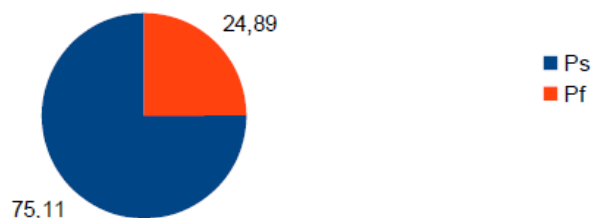
Anexo en el cd apéndice se encuentra la herramienta en Open office calc bajo el nombre de estudio de confiabilidad para su uso, junto con su manual para el usuario (apéndice 5). A continuación se muestran las figuras con una parte del ingreso de los datos y parte del reporte:



**Figura 9 Ingreso de Horas Antes de Fallar de la herramienta**

**Fuente Autor**

### PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA



NOTA: ESTA ES LA PROBABILIDAD DE QUE EL EQUIPO FUNCIONE CORRECTAMENTE DURANTE TODO EL MES

**Figura 10 Fragmento del informe representando la Probabilidad de falla**

**Fuente: Autor**

#### 6.2.2.3 Mantenibilidad

La cual sirve para llevar el control de la duración de la falla, esta herramienta también utiliza el formulario F-GO-051 (cd anexo carpeta Formularios Mantto archivo F-GO-051 Reporte de Fallas Rev.2), ya que entre las informaciones se encuentra la duración de la falla, dato fundamental para el control de este indicador. Esta herramienta también se amplía para llevar el control de la eficiencia de las cuadrillas de mantenimiento.

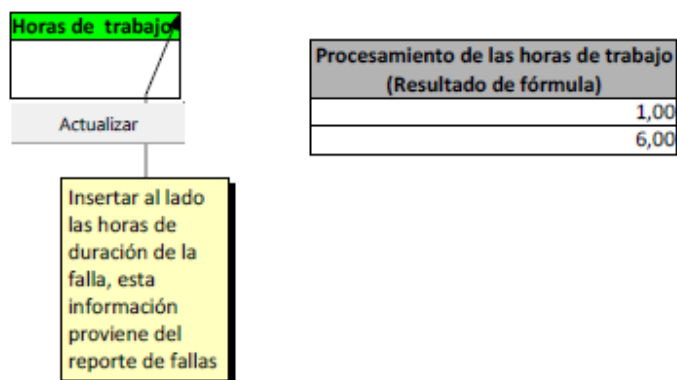
Por lo tanto, a continuación se presentan las dos versiones de la herramienta de mantenibilidad.

#### Mantenibilidad de la falla

La mantenibilidad de la falla esta dirigida a las fallas que tiene el equipo exclusivamente, mas no a las órdenes de trabajo que se ejecutan para solventar la falla, esto se debe a que pueden existir fallas que requieran más de una orden de trabajo y hay órdenes de trabajo que no están relacionadas directamente con las fallas. Debido a esto, para llevar el control del indicador relacionado con las fallas se utiliza el reporte de fallas y el beneficio es el conocimiento de la capacidad de recuperación del equipo, lo cual puede

influir en la toma de decisiones futuras en la compra de los equipos (apéndice 5).

Para la falla se tiene entonces las siguientes figuras representan una muestra de lo que sería la herramienta para este indicador:



**Figura 11 El Cuadro del ingreso de los datos para la Mantenibilidad**

**Fuente: Autor**

HORAS PROMEDIO PARA REPARAR= 4,37

NOTA: ESTE ES EL TIEMPO QUE ACTUALMENTE TIENE EL EQUIPO EN PROMEDIO PARA RECUPERARSE DE LA FALLA, EXPRESADO EN HORAS

**Figura 12 Extracto del Informe de la Herramienta**

**Fuente: Autor**

#### Rendimiento de la Cuadrilla de Mantenimiento

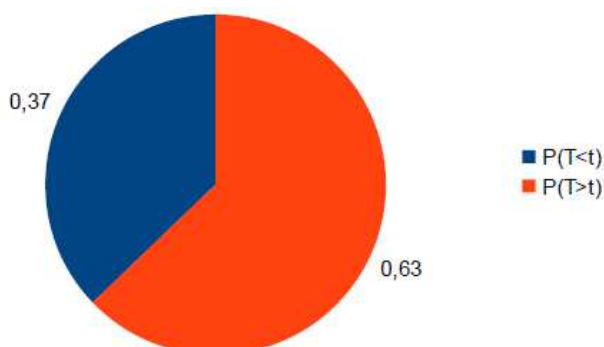
Por lo antes mencionado, se tiene una segunda herramienta orientada a la cuadrilla, que usa la información del formulario F-GO-036 también llamada orden de trabajo, esto ayuda a determinar la eficiencia de la cuadrilla en la ejecución de las actividades, además que ayuda a registrar los promedios de los tiempos, mes a mes, o año a año.

Adicionalmente se puede predecir la probabilidad del tiempo de ejecución real sea menor o igual al tiempo estimado para una orden de trabajo en particular. Para este caso se tiene una herramienta diferente (apéndice 6), a continuación una muestra de la herramienta:



**Figura 13 Cuadros a llenar por parte del usuario**

**Fuente: Autor**



NOTA: ESTA ES LA PROBABILIDAD CON LA QUE LA SIGUIENTE ORDEN DE TRABAJO SERÁ REALIZADA EN UN TIEMPO MENOR O IGUAL AL ESTIMADO

**Figura 14 Fragmento del Informe de la herramienta desarrollada para el seguimiento de las órdenes de trabajo**

**Fuente: autor.**

#### 6.2.2.4 Disponibilidad

Este indicador en particular se lleva por parte de la Gerencia de Operaciones, que nivel general el método que utilizan es el siguiente; cada

mes se tiene un caudal programado a cumplir dependiendo de la demanda esperada, a partir de allí se combinan de las bombas disponibles, cuáles logran cumplir con ese caudal. Luego, se lleva un control de cuantas horas ha estado el equipo funcionando al mes.

Debido a que ya otra gerencia está encargada de llevar el control del indicador y ha demostrado a lo largo de su experiencia tener un diseño eficiente, no se realizó un rediseño del mismo.

### **6.3 Plan de Mantenimiento**

Una vez obtenidos los equipos críticos se procedió a realizar una investigación en cada una de las plantas que poseen equipos similares, para averiguar sus prácticas de mantenimiento, en el plan se vinculan los indicadores relacionados con las mediciones rutinarias las cuales se repiten en cada uno de los equipos eléctricos que previamente fueron determinados como primordiales. Además se realizó su identificación con el código determinado por la ISO 9001, aunque debido a la existencia de equipos adicionales distintos a los que tenían identificación se tuvieron que agregar nuevos códigos. (cd Anexo archivo Códigos agregar y archivo codificación)

El Plan de Mantenimiento está basado en noventa y dos (92) modelos de equipos que fueron los que se determinaron críticos para el correcto funcionamiento de la Planta de Tratamiento (Apéndice 3).

### **6.4 Programa de Mantenimiento**

El programa de mantenimiento se desprende del Plan de Mantenimiento en el cual se contempla el mantenimiento durante un año y se especifican los meses en que deben ejecutarse los mantenimientos (Apéndice 4).

### **6.5 Personal Requerido para ejecutar el Plan de Mantenimiento**

Ya que el Plan de Mantenimiento contempla el tiempo expresado en horas y también el personal requerido para la realización de cada una de las

actividades, se puede calcular la cantidad de personas necesarias para llevar el Plan de manera eficaz y eficiente.

Tomando en cuenta que la cuadrilla de Mantenimiento en Hidrobolívar tiene un horario de 7:00 A. M. a 3:00 P. M., es decir, una jornada de ocho (8) horas, y que además en dicha jornada se tiene una hora de almuerzo y de necesidades personales, se puede calcular cuántas horas anuales cumple una persona en la cuadrilla, multiplicando esas siete (7) horas, por los cinco (5) días a la semana, por las cincuenta y dos (52) semanas que posee un año, se obtiene mil ochocientos veinte (1820) horas anuales, que cumple una persona perteneciente a la cuadrilla.

Los Operadores Integrales No pertenecen a la Cuadrilla, por lo tanto cumplen un horario diferente, debido a que la empresa produce de manera continua, ellos cumplen tres (3) turnos de ocho (8) horas, y ya que poseen una hora de descanso, se tiene que los 365 días del año cumplen con veintiún (21) horas efectivas al día, por lo tanto, anualmente los operadores están disponibles siete mil seiscientos sesenta y cinco (7665) horas Anuales.

Una vez calculadas las horas anuales disponibles de la Cuadrilla de Mantenimiento y de los Operadores Integrales. Se procede a calcular las horas que les tomaría ejecutar el Plan de Mantenimiento, multiplicando el número de equipos, por la frecuencia de la actividad, por el número de horas que toma realizarla, por la cantidad de personas.

Debido a que la Planta de Tratamiento se encuentra a 4,7 Km de la Zona de Captación, se calculan Cuadrilla Independientes y se tiene que para la Planta de Tratamiento lo siguiente:

- Se requieren trescientos ochenta y seis (386) Horas Anuales para un Jefe de Operaciones.

- Doscientos ocho (208) Horas anuales para un Jefe de Mantenimiento.
- Cinco mil cuatrocientas veinticuatro con setenta y cuatro centésimas (5424,74) Horas Anuales para un Operador Integral.
- Dos mil setecientos treinta con setenta y cinco centésimas (2730,75) Horas Anuales para un Técnico Mecánico.
- Dos mil doscientos noventa y ocho (2298) Horas Anuales para un Técnico Electricista.

Luego estos resultados (Técnicos Electricistas, Técnicos Mecánicos, Jefe de Operaciones y Supervisor de Mantenimiento), se dividen entre el horario disponible para la Cuadrilla de Mantenimiento, se obtiene lo siguiente;

- Dos (2) Técnicos Electricistas
- Dos (2) Técnicos Mecánicos
- Un (1) Jefe de Operaciones
- Un (1) Supervisor de Mantenimiento

Luego en la Zona de Captación se requieren las siguientes horas:

- Dos mil ciento ochenta y siete (2187) Horas Anuales de un Técnico Electricista.
- Dos mil ciento setenta y cinco (2175) Horas Anuales de un Técnico Mecánico.
- Doscientos treinta y cuatro con cinco décimas (234,5) Horas Anuales de un Operador Integral.
- Doscientos diez (210) Horas de Jefe de Operaciones.
- Treinta y seis (36) Horas Anuales de Supervisor de Mantenimiento.

Por lo tanto debido a la ubicación geográfica de la Zona de Captación se recomienda contratar una cuadrilla adicional, compuesto de:

- Dos (2) Técnicos Electricistas
- Dos (2) Técnicos Mecánicos

Mientras que se le informa a la Gerencia de Operaciones la cantidad de horas anuales que se requiere del personal de operaciones (Operadores Integrales) para que se lleve a cabo el mantenimiento.

## **6.5 Estrategias de mejora**

Las estrategias de mejora nacen de un análisis FODA, donde se combinan las fortalezas con las oportunidades y con la amenazas, como también se combinan las debilidades con las amenazas y las oportunidades (ver punto 5.3.4), con el fin de brindar líneas de acción para el crecimiento de la gerencia de mantenimiento.

A continuación se presentan las estrategias una a una:

### **6.5.1 Estrategias FO (Fortalezas y oportunidades)**

- Llevar de manera automatizada los controles que ya se llevan en los formularios (F3,O5).
- Crear una central informativa sobre el estado de cada planta en tiempo real (F1,O5).
- Extender las políticas de mantenimiento al resto de las plantas del Estado Bolívar (F2, O1).

### **6.5.2 Estrategias FA (Fortalezas y amenazas)**

- Extender las prácticas de mantenimiento al resto de las plantas que no se encuentran certificadas, para disminuir las emergencias (F2, A3).
- Verificar el rendimiento del mantenimiento para justificar la asignación de un presupuesto mayor o mejorar el rendimiento del presupuesto asignado (F3, A2).

- Realizar con más atención los tres tipos de mantenimiento a los equipos críticos, para alargar su vida útil (F4, A4).

#### 6.5.3 Estrategias DO (Debilidades y oportunidades)

- Llevar el control estadístico del comportamiento de los equipos a través de un software diseñado para sus indicadores (D3, O5).
- Adquirir equipos necesarios para la realización del mantenimiento correctivo y así asegurar el correcto funcionamiento del taller central (D5, O2).
- Crear un sistema centralizado de información para llevar la historia de los equipos (D2, O5).
- Incorporar en la gerencia de mantenimiento políticas de remplazo de equipos para la mejora de la confiabilidad de la planta (D6, O4).

#### 6.5.4 Estrategias DA (Debilidades y Amenazas)

- Incorporar políticas de remplazo de equipos para la disminución de las emergencias en todo el estado (D6, A3).
- Llevar control estadístico del comportamiento de los equipos para la optimización del presupuesto (D3, A2).
- Obtener herramientas adecuadas para la realización del mantenimiento correctivo para la disminución de envío de equipos a talleres foráneos (D5, A1).

## **CONCLUSIONES**

Una vez analizados los resultados correspondientes a este trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Considerando el hecho, que la planta de seiscientos (600) lps Acueducto Oeste, no ha sido construida, el estudio a realizar es en base a equipos nuevos, contando con doscientos cuarenta y seis (246) modelos de equipos diferentes.
2. Se ejecutó un análisis de criticidad donde se determinaron que de los doscientos cuarenta y seis (246) modelos de equipos propuestos noventa y dos (92) de ellos son críticos, debido a su influencia en la seguridad de la planta, en la producción de agua, calidad del producto y costos de mantenimiento.
3. Tras realizar un diagnóstico de los equipos proyectados se identificaron noventa y dos (92) de ellos, con un código único, bajo los criterios de la ISO 9001-2000, con el fin de crear una base de datos de los mismos, que facilite el acceso a la información del historial de intervenciones, fallas y su ficha técnica.
4. Una vez seleccionados los equipos críticos se les diseñó un Plan de Mantenimiento (preventivo), el cual incluye la identificación de los equipos, el subsistema al que pertenecen, su descripción, la actividad a realizar, su frecuencia, la descripción del trabajo, las medidas de seguridad, herramientas a utilizar, tiempo que se toma realizar las actividades y personal requerido.
5. Tomando en cuenta los tiempos estimados para la realización de cada una de las actividades, en la Zona de Captación (a 4,7 km de la planta de tratamiento) deben contratarse dos (2) Técnicos Electricistas y dos (2) Técnicos Mecánicos y en la Planta de Tratamiento Acueducto Oeste también dos (2) Técnicos Electricistas y dos (2) Técnicos Mecánicos, para garantizar el cumplimiento eficaz y eficiente del Plan de Mantenimiento.

6. Con la elaboración del Plan de Mantenimiento se desarrolló un Programa de Mantenimiento que refleja la frecuencia con la cual se debe ejecutar el mantenimiento a los equipos durante el año.
7. En cuanto a los indicadores se trabajó con los siguientes: Corriente eléctrica, tensión, vibración, temperatura, disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad; de los cuáles los dos últimos fueron diseñados para su seguimiento. Los primeros cuatro indicadores permiten la predicción del mantenimiento de los equipos electro-mecánicos, mientras que la disponibilidad les facilita la selección de bombas para llegar al caudal programado mensualmente.
8. Los indicadores diseñados confiabilidad y mantenibilidad, proporcionan respectivamente la predicción del comportamiento del equipo y la capacidad de recuperación de las fallas, como a su vez el rendimiento de la cuadrilla de mantenimiento.
9. Tomando en cuenta las gestiones de mantenimiento que se llevan en cada una de las plantas certificadas, las estrategias de mejora se encuentran orientadas, a la automatización de los indicadores y a un sistema de información integral.

## **RECOMENDACIONES**

Una vez analizada la información recopilada y las conclusiones obtenidas se recomienda:

1. Aplicar la propuesta planteada en los resultados del trabajo de investigación, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos del Acueducto Oeste y aplicar al resto de las plantas.
2. Implementar el software desarrollado para el seguimiento de la confiabilidad y mantenibilidad al resto de las plantas incluyendo la toma de agua cruda y estaciones de rebombeo.
3. Extender las políticas de mantenimiento preventivo y predictivo a todas las torre-toma y estaciones de rebombeo, y hacer el estudio del estado de los equipos que allí se encuentran.
4. Entrenar al personal de mantenimiento de todas las plantas de tratamiento en el manejo de hojas de Calc de Open Office, para asegurar su correcto uso y así mejorar el rendimiento de la cuadrilla de mantenimiento.
5. Evaluar la realización de Lagunas de Oxidación para el tratamiento de aguas residuales.
6. Adopción de políticas de mantenimiento preventivo y predictivo en las plantas no certificadas para la aplicación de la propuesta planteada.
7. Incluir en el historial del equipo los reportes de fallas y los resultados arrojados por la herramienta.

8. Aplicar el software desarrollado en la propuesta y hacer cortes anuales donde se haga vuelta a cero los valores de la planta, para hacer comparaciones e incentivar a los empleados con los resultados.
9. Adecuar y diseñar formularios genéricos para que todas las plantas posean los mismos formularios y así garantizar el uso del software desarrollado.
10. Codificar el resto de los equipos de la Planta de Tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arata, A. (2009) Ingeniería de Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales Aplicación plataforma R-MES. Chile. PIL Editores.
2. Arias, F. (2006) El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica. Epísteme, Caracas, Venezuela, 5ta edición.
3. Berenson, M. (2006). Estadística para administración. Pearson Educación.
4. Carot, V. (1998). Control estadístico de la calidad. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España.
5. C. V. G. Internacional (2007) [www.hidrobolivar.gob.ve/DI\\_infraestructura/AR\\_plantas.php](http://www.hidrobolivar.gob.ve/DI_infraestructura/AR_plantas.php)
6. García, S. (2003) Organización y Gestión Integral del Mantenimiento. España. Ediciones Díaz de Santos, S. A.
7. Gómez de León, F. (1998) Tecnología del Mantenimiento Industrial, España, Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia.
8. Gómez, Marcelo (2006). Introducción a la Metodología de la Investigación. Argentina. Editorial Brujas.
9. Hurtado, J. (2001). Paradigmas y Métodos de Investigación. Orial Editores. Primera Edición.
10. Mosquera Castellanos, L. G. (1987). Apoyo Logístico para la Administración Del Mantenimiento Industrial. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y humanístico, Venezuela.
11. Pérez, A (2002) Guía Metodológica para Anteproyectos de Investigación. Caracas, Pedupel.

## APÉNDICE 1

### Listado de equipos:

#### Captación

- Seis (6) bombas verticales tipo turbina, con un punto de operación de 125 lps a 95 m.c.a.
- Seis (6) motores trifásicos de 480 V, 60 Hz, 225 HP, uso interperie.
- Cuatro (4) bridas de acero con cuello para soldar diámetro 28".
- Cuatro (4) bridas de acero con cuello para soldar de diámetro 20".
- Treinta y seis (36) bridas de acero con cuello para soldar 10".
- Dos (2) bridas de acero con cuello para soldar diámetro 8".
- Seis (6) válvulas mariposa de 10" clase 250 bridada ANSI B16.5.
- Seis (6) válvulas check tilted disc 10" clase 250 tipo monoblock bridado ANSI B16.5.
- Dos (2) válvulas de compuerta de 28" clase 250 bridada ANSI B16.47.
- Una (1) válvula de drenaje tipo compuerta 20" clase 250 bridada ANSI B16.5.
- Una (1) válvula de alivio de presión de 20"bridada ANSI B16.5. Calibrada para operar a 200 PSI.
- Una (1) válvula mariposa de 8" clase 250 bridada ANSI B16.5.
- Seis (6) mangueras flexibles de caucho para descarga de bombas de diámetro 10".
- Nueve mil cuatrocientos (9400) ML de tuberías PEAD de diámetro 20".
- Trescientos (300) ML de tuberías de acero de diámetro 28".
- Tres (3) corta corriente de 15 KV.
- Un (1) transformador de potencia tipo subestación de 1500 KVA (ONAN) trifásico 13,8-0,48/0,277 KV.
- Cable de potencia calibre 2 AWG, apantallado con aislamiento de polietileno reticulado, 90°C de operación.

- Un (1) Tablero eléctrico de cuatro celdas compartidas de uso interperie.
- Un (1) Interruptor de 2500 A, uso interior.
- Un (1) transformador seco de 10 KVA de potencia para los servicios auxiliares.
- Un (1) Polipasto de 2 toneladas.

#### Entrada y salida

- Dos (2) válvulas mariposa, diámetro 24" clase 150.
- Ochenta (80) ML de tubería de acero al carbono A-36 diámetro 30".
- Cuarenta y ocho (48) ML de tubería de acero al carbono A-36 diámetro 24".
- Doce (12) ML de tubería de acero al carbono A-36 diámetro 20".
- Veinte y cuatro (24) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 10".
- Dieciocho (18) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 8".
- Ochenta (80) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".
- Seis (6) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 4".
- Dos (2) juntas de desmontaje, diámetro 30".
- Dos (2) juntas de desmontaje, diámetro 24".
- Dos (2) juntas de desmontaje, diámetro 20".
- Siete (7) juntas de desmontaje, diámetro 10" de acero al carbono.
- Una (1) junta de desmontaje, diámetro 8" de acero al carbono.
- Una (1) junta de desmontaje, diámetro 6" de acero al carbono.
- Dos (2) bridas diámetro 30" ANSI 150.
- Cuatro (4) bridas diámetro 24", ANSI 150.
- Catorce (14) bridas diámetro 10" acero al carbono.
- Dos (2) bridas slip-on, diámetro 8" de acero al carbono.
- Tres (3) bridas diámetro 6".
- Dos (2) bridas ciega de acero al carbono diámetro 8".

- Cuatro (4) bridas slip-on de acero al carbono, diámetro 4".
- Una (1) brida ciega de acero al carbono, diámetro 4".
- Seis (6) codos ASME R/L diámetro 30".
- Cuatro (4) codos ASME diámetro 6".
- Cuatro (4) codos P/soldar de acero, diámetro 8" #150.
- Dos (2) codos R/L diámetro 24".
- Un (1) reductor ASME diámetro 30"X28".
- Seis (6) bocas de sapo de 10"X30".
- Seis (6) bocas de sapo de 20"X30".
- Cuatro (4) tee P/soldar, diámetro 6"X4" de acero.
- Un (1) surtidor de químicos de polietileno, diámetro 250 mm.
- Dos (2) válvulas de mariposa de diámetro 20" clase 150.
- Una (1) válvula de compuerta de H. F. Extremos con bridas roscadas #125 diámetro 10" stockham G-623.
- Seis (6) válvulas check, diámetro 10" asiento EPDM.
- Una (1) válvula de compuerta H. F. diámetro 8" clase 125.
- Una (1) válvula de compuerta H. F. Extremos con bridas roscadas #125, diámetro 6" stockham G-623.
- Dos (2) válvulas de compuerta diámetro 4" de H. F. clase 125.
- Dos (2) válvulas check diámetro 4" bridada.
- Un (1) pulmón anti golpe de ariete.
- Dos (2) válvulas mariposa, diámetro 30" clase 150.
- Una (1) Mira graduada.
- Un (1) Medidor de caudal.
- Una (1) flauta de dosificación de cloro.

## Módulo 1

Tomando en cuenta que la planta consta de dos módulos, mencionarán los equipos de cada módulo de forma separada, pero en cada módulo existe una subclasificación de los mismos como se presenta a continuación;

### Sistema de lavado y salida de filtros

- Tres (3) compuertas G-101 21"x21" operación manual.
- Tres (3) compuertas G-102 12"x12" operación manual.
- Tres (3) compuertas G-103 21"x21" operación cilindro neumático.
- Tres (3) compuertas G-104 21"x21" operación cilindro neumático.
- Seis (6) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".
- Dos (2) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 12".
- Cincuenta y ocho con cinco décimas (58,50) ML de tubería de acero al carbono diámetro 16".
- Un (1) ML de tubería de acero al carbono diámetro 24".
- Un (1) ML de tubería de acero al carbono SCH20 diámetro 30".
- Trescientos treinta (330) ML de tubería de acero inoxidable CH40 diámetro 1- ½ ".
- Sesenta y tres (63) ML de tubería de acero inoxidable SCH40 diámetro 4".
- Nueve (9) ML de tubería de acero inoxidable SCH40 diámetro 6".
- Dieciocho (18) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".
- Veinte y cuatro (24) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 8".
- Seis (6) válvulas de cuchilla, diámetro 16" clase 150 con actuador de cilindro de aire.
- Dos (2) válvulas mariposa, diámetro 12" actuador con volante.
- Dos (2) válvulas tipo check, diámetro 12" asiento EPDM.
- Tres (3) válvulas de compuerta, diámetro 6" de hierro fundido, bridas clase 125.

- Dos (2) juntas de desmontaje diámetro 12".
- Tres (3) codos ASME diámetro 16".
- Un (1) codo ASME diámetro 12".
- Cuatro (4) tee ASME diámetro 16"X12".
- Dos (2) tee ASME diámetro 30"X16".
- Una (1) tee ASME diámetro 24"X16".
- Un (1) reductor ASME diámetro 16"X12".
- Un (1) reductor ASME diámetro 24"X30".
- Una (1) brida diámetro 24".
- Una (1) brida ciega de acero al carbono, diámetro 24".
- Dos (2) bridas de acero al carbono diámetro 12".
- Doce (12) bridas de acero al carbono diámetro 16".
- Un (1) Manómetro de 0-150 PSI salida de ½".
- Una (1) batería de 3 filtros tipo arena.
- Doscientos Treinta y uno (231) ML de tubería PEAD 160mm SDR17.
- Sesenta (60) tapas PEAD 160 mm.

#### Sistema de aire de lavado

- Tres (3) sopladores de capacidad de 1000CFM, 5 PSI, 60 HP salida y entrada de 6"x6".
- Tres (3) válvulas de cuchilla, diámetro 6" clase 150 con actuador de cilindro de aire.
- Tres (3) válvulas mariposa, diámetro 6" actuador manual.
- Tres (3) válvula check, diámetro 6" asiento EPDM.
- Tres (3) pupitres de control de filtros con valvulería.
- Sesenta (60) codos roscados de acero inoxidable, diámetro 1-1/2" #150.
- Doce (12) codos ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4", 90 grados.
- Nueve (9) codos ASME diámetro 6".
- Sesenta (60) weldolets diámetro 1- ½ "X4" de acero inoxidable.

- Tres (3) tee P/soldar diámetro 6"X4" de acero.
- Seis (6) tee P/soldar diámetro 8"X6" de acero.
- Nueve (9) bridas slip-on de acero al carbono diámetro 6".
- Dos (2) bridas slip-on de acero al carbono diámetro 8".
- Dos (2) bridas ciegas de acero al carbono diámetro 8".
- Sesenta (60) uniones universales a/inox diámetro 1- ½ ".
- Sesenta (60) tapas ASME 150 de acero inoxidable, diámetro 2".
- Seis (6) reducciones ASME 150 de acero inoxidable diámetro 6"X4".
- Dos (2) reducciones ASME diámetro 4"X6".
- Tres (3) celdas de floculación-sedimentación.

## Módulo 2

### Sistema de lavado y salida de filtros

- Tres (3) compuertas G-101 21"x21" operación manual.
- Tres (3) compuertas G-102 12"x12" operación manual.
- Tres (3) compuertas G-103 21"x21" operación cilindro neumático.
- Tres (3) compuertas G-104 21"x21" operación cilindro neumático.
- Seis (6) ML de tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".
- Setenta y tres con cinco décimas (73,50) de tubería de acero al carbono, diámetro 16".
- Treinta y seis (36) ML de tubería de acero al carbono, diámetro 24".
- Treinta y seis (36) ML de tubería de acero al carbono SCH20, diámetro 30".
- Trescientos treinta (330) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ".
- Sesenta y tres (63) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 4".
- Nueve (9) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 6".
- Seis (6) ML de tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 6".

- Treinta y seis (36) ML de tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 8".
- Seis (6) válvulas de cuchilla, diámetro 16" clase 150 con actuador de cilindro de aire.
- Tres (3) válvulas de compuerta, diámetro 6" de hierro fundido, bridas clase 125.
- Un (1) codo ASME diámetro 6".
- Dos (2) tee ASME diámetro 16"x12".
- Dos (2) tee ASME diámetro 30"x16".
- Una (1) tee ASME diámetro 24"x16".
- Doce (12) bridas de acero al carbono, diámetro 16".
- Doscientos treinta y un (231) ML de tubería PEAD 160mm SDR17.
- Sesenta (60) tapas PEAD 160 mm.
- Mil ochenta (1080) bushing de acero inoxidable de 3/4"x1".

#### 5.2.3.2 Sistema de aire de lavado

- Tres (3) válvulas de cuchilla, diámetro 6" clase 150 con actuador de cilindro de aire.
- Sesenta (60) codos roscados de acero inoxidable diámetro 1- 1/2 " #150.
- Doce (12) Codos ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4", 90 grados.
- Nueve (9) codos ASME diámetro 6".
- Sesenta (60) weldolet diámetro 1- 1/2 " de acero inoxidable.
- Tres (3) tee P/soldar diámetro 6"x4" de acero.
- Seis (6) tee P/soldar diámetro 8"x6" de acero.
- Tres (3) bridas slip-on de acero al carbono diámetro 6".
- Sesenta (60) uniones universales a/inox diámetro 1-1/2".
- Seis (6) reducciones ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4"x6".
- Tres (3) bridas de acero inoxidable diámetro 6"

### Almacenamiento

- Seis (6) bombas de turbina verticales para agua clara de 150 lps vs. 97 m.
- Seis (6) motores verticales de 250 HP, 460 Voltios, trifásicos.
- Dos (2) bombas Verticales de flujo mixto para retrolavado de los filtros de 270 lps vs. 6 m.
- Dos (2) motores verticales, de 40 HP, 460 Voltios, trifásicos.
- Dos (2) bombas de turbina verticales de agua de servicio de 25 lps vs. 40 m.
- Dos (2) motores verticales, de 20 HP, 460 Voltios, trifásicos.
- Un (1) sistema hidroneumático.
- Un (1) tanque de concreto armado semienterrado, de 14,10 m de ancho X 14,10 m de largo con 5,30 m de profundidad.

### Dosificación de sustancias químicas

- Una (1) Grúa de 3 toneladas, luz 7 m, traslación 35 m.
- Una (1) Grúa de 2 toneladas, luz 7 m, traslación 15 m.
- Cuatro (4) dosificadores volumétricos Merrick Omega 21-12 con tanque disolvente.
- Cuatro (4) tolvas con vibrador, válvula y junta, Merrick .
- Cuatro (4) válvulas globo, diámetro ½" de bronce Crane .
- Cuatro (4) válvulas de globo, diámetro 1 ½" de bronce Crane .
- Cuatro (4) válvulas de globo, diámetro 2" de bronce Crane .
- Un (1) manómetro de 0 a 600 PSI.
- Una (1) válvula de globo, diámetro 1".
- Tres (3) cloradores de 500 lbs/día.
- Tres (3) inyectores de 500 lbs/día.
- Un (1) detector y alarma de cloro.
- Dos (2) balanzas hidráulicas para 2 cilindros.
- Siete (7) válvulas de gas cloro, diámetro ¾".

- Un (1) manómetro de 0-600 PSI con diafragma protectora para cloro.
- Dos (2) coladores de línea de gas cloro, diámetro  $\frac{3}{4}$ ".
- Tres (3) válvulas de globo de bronce, diámetro 2" crane .
- Cuatro (4) codos roscados de acero inoxidable diámetro 1-  $\frac{1}{2}$  " #150.
- Cuatro (4) codos roscados de acero inoxidable diámetro 2" #150.
- Doce (12) codos PEAD diámetro 63 mm.
- Cuatro (4) uniones universales a/inox diámetro 1-  $\frac{1}{2}$  ".
- Cuatro (4) uniones universales a/inox diámetro 2".
- Cuatro (4) tee roscadas de a/inox diámetro 2"X1-1/2".
- Cuatro (4) threadolet de 2"X6".
- Ocho (8) adaptadores de rosca X PEAD 75 mm.
- Una (1) boquilla bete de acero inoxidable diámetro 1".
- Un (1) codo de acero inoxidable roscado diámetro 1-  $\frac{1}{2}$  ".
- Cuatro (4) codos PEAD SDR17 diámetro 200 mm.
- Cinco (5) yee de PEAD SDR17 diámetro 200 mm X 160 mm.
- Un (1) kit B de reparaciones de cloro.
- Cuatro (4) yugos para conexión de cilindros.
- Seis (6) llaves wrench para válvulas cloro.
- Doce (12) codos PEAD 90 gr diámetro 75 mm PN8.
- Seis (6) codos de hierro forjado roscado de diámetro  $\frac{3}{4}$ " para 3000 PSI.
- Seis (6) tee de hierro forjado roscado de diámetro  $\frac{3}{4}$ " para 3000 PSI.
- Seis (6) acoples de bridas de amoniaco de 3000 PSI diámetro  $\frac{3}{4}$ ".
- Dos (2) adaptadores de brida PEAD de diámetro 75 mm.
- Dos (2) adaptadores de brida de CPVC diámetro 3".
- Diez (10) acoples de PEAD electrofundente diámetro 75 mm.
- Dos (2) tapas ciegas de PEAD electro fundente diámetro 75 mm.
- Tres (3) niples de acero inoxidable diámetro 2" y largo 8 cm.
- Tres (3) niples de acero inoxidable de diámetro 2" y largo 15 cm.

- Cuatro (4) mangueras de gas cloro de largo 6' especificadas por el Chlorine Institute.
- Veinte y cuatro (24) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ".
- Cuarenta (40) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 2".
- Treinta (30) ML de tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 6".
- Cuatrocientos (400) ML de tubería PEAD SDR26, diámetro 63 mm.
- Doscientos (200) ML de tubería PEAD SDR26, diámetro 75 mm.
- Ciento cincuenta (150) ML de manguera de lona para 150 PSI, diámetro 3".
- Dos (2) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1".
- Veinte (20) ML de tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ".
- Seis (6) ML de tubería de PEAD SDR26, diámetro 160 mm.
- Cuarenta (40) ML de tubería de PEAD SDR26, diámetro 200 mm.
- Veinte (20) ML de tubería de PVC, diámetro 3".
- Ciento cincuenta (150) ML de tubería PEAD SDR17, diámetro 75 mm.
- Veinte y cuatro (24) ML de acero al carbono SCH80, diámetro ¾".

#### Instalación eléctrica

- Un (1) transformador trifásico en aceite 1500 KVA, 34.000 V-480 V conexión estrella triángulo.
- Una (1) Celda interperie para seccionador rompecargas de 34.000 V.
- Un (1) generador diesel de emergencia, 1.500 KVA, 480 V, 3 fases, 60 Hz. Con tanque y container.
- Un (1) tablero autoportante de control central de motores (CCM) de 480 V, 3 fases.
- Un (1) tablero autoportante de uso interior para casa de servicios de iluminación.
- Un (1) tablero uso interior con interruptor principal, de 208 V/120 V para alimentación de casa de químicos.

- Un (1) tablero para planta eléctrica NLAB412AB50 NEMA 1.
- Seis (6) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 300 HP-460 V.
- Tres (3) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 60 HP-460 V.
- Dos (2) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 40 HP-460 V.
- Dos (2) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 20 HP-460 V.
- Dos (2) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 3 HP-208 V.
- Dos (2) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 7,5 HP-208 V.
- Tres (3) cajas para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 1 HP-208 V.
- Noventa (90) m de cable de 34 KV monopolar #2.
- Doce (12) copas terminales para cables de 35KV monopolar #2.
- Mil ciento ochenta (1180) m de cable TTU - 500 MCM - 600 V.
- Setecientos cincuenta y uno (751) m de cable de TTU - 350 MCM - 600 V.
- Ochocientos veinte y ocho 828 m de cable TTU - #1/0 – 600 V.
- Doscientos (200) m de cable TTU - #2 – 600 V.
- Cuatrocientos cuarenta y cuatro (444) m de cable TTU - #4 – 600 V.
- Tres mil (3000) m de cable TTU - #6 – 600 V.
- Dos mil noventa y dos (2092) m de cable TTU - #8 – 600 V.
- Dos mil ciento noventa y seis (2196) m de cable de TTU - #10 – 600 V.
- Tres mil ochocientos sesenta y cuatro (3864) m de cable TTU - #12 – 600 V.
- Mil trescientos setenta (1370) m de cable de control PVC/PVC 600 V 7X#14.

- Cuatrocientos noventa y nueve (499) m de cable de control PVC/PVC 600 V 3X#14.
- Setecientos (700) m de cable apantallado 2X#18.

## APÉNDICE 2

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Bomba vertical tipo turbina, con un punto de operación de 125 lps a 95 m. c. a.	C	A	C	A	A
Motor trifásico de 480 V, 60 Hz, 225 HP, uso interperie.	C	A	C	A	A
Brida de acero con cuello para soldar diámetro 28"	C	A	C	C	A
Brida de acero con cuello para soldar de diámetro 20"	C	A	C	C	A
Válvula de compuerta de 28" clase 250 bridada ANSI B16.47.	C	A	C	A	A
Válvula de drenaje tipo compuerta 20" clase 250 bridada ANSI B16.5.	C	A	C	A	A
Válvula de alivio de presión de 20"bridada ANSI B16.5. Calibrada para operar a 200 PSI.	C	A	C	A	A
Tubería PEAD de diámetro 20".	C	A	C	A	A
Tubería de acero de diámetro 28".	C	A	C	A	A
Corta corriente de 15 KV.	A	A	C	A	A
Transformador de potencia tipo subestación de 1500 KVA (ONAN) trifásico 13,8-0,48/0,277 KV.	A	A	C	A	A

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Cable de potencia calibre 2 AWG, apantallado con aislamiento de polietileno reticulado, 90°C de operación.	A	A	C	A	A
Tablero eléctrico de cuatro celdas compartidas de uso interperie.	A	A	C	B	A
Transformador seco de 10 KVA de potencia para los servicios auxiliares.	B	C	C	A	A
Válvula mariposa, diámetro 24" clase 150.	C	A	C	B	A
Tubería de acero al carbono A-36 diámetro 30"	C	A	C	B	A
Tubería de acero al carbono A-36 diámetro 24"	C	A	C	B	A
Tubería de acero al carbono A-36 diámetro 20"	C	A	C	B	A
Junta de desmontaje, diámetro 30".	C	A	C	B	A
Junta de desmontaje, diámetro 24".	C	A	C	B	A
Junta de desmontaje, diámetro 20".	C	A	C	B	A
Brida diámetro 30" ANSI 150.	C	A	C	A	A
Brida diámetro 24", ANSI 150.	C	A	C	A	A
Codo ASME R/L diámetro 30".	C	A	C	A	A
Codo R/L diámetro 24".	C	A	C	A	A
Reductor ASME diámetro 30"X28".	C	A	C	A	A

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Válvula de mariposa de diámetro 20" clase 150.	C	A	C	A	A
Pulmón anti golpe de ariete.	C	A	C	A	A
Válvula mariposa, diámetro 30" clase 150.	C	A	C	A	A
Flauta de dosificación de cloro.	C	A	C	A	A
Compuerta G-101 21"x21" operación manual.	C	A	C	A	A
Compuerta G-102 12"x12" operación manual.	C	A	C	A	A
Compuerta G-103 21"x21" operación cilindro neumático.	C	A	C	A	A
Compuerta G-104 21"x21" operación cilindro neumático.	C	A	C	A	A
Tubería de acero al carbono diámetro 24", espesor 9,53 mm.	C	A	C	A	A
Tubería de acero al carbono SCH20 diámetro 30".	C	A	C	A	A
Tee ASME diámetro 30"X16".	C	A	C	A	A
Tee ASME diámetro 24"X16".	C	A	C	A	A
Reductor ASME diámetro 24"X30".	C	A	C	A	A
Brida AWWA grado B, diámetro 24".	C	A	C	A	A
Brida ciega de acero al carbono, diámetro 24".	C	A	C	A	A
Batería de 3 filtros tipo arena.	C	A	C	C	A

<b>Equipo</b>	<b>Seguridad y medio ambiente</b>	<b>Producción</b>	<b>Calidad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Criticidad</b>
Celda de floculación-sedimentación.	C	A	B	C	A
Compuertas G-101 21"x21" operación manual.	C	A	C	A	A
Compuerta G-102 12"x12" operación manual.	C	A	C	A	A
Compuerta G-103 21"x21" operación cilindro neumático.	C	A	C	A	A
Compuerta G-104 21"x21" operación cilindro neumático.	C	A	C	A	A
Tubería de acero al carbono, diámetro 24", espesor 9,53 mm.	C	A	C	A	A
Tubería de acero al carbono SCH20, diámetro 30".	C	A	C	A	A
Tee ASME diámetro 30"X16".	C	A	C	A	A
Tee ASME diámetro 24"X16".	C	A	C	A	A
Celda de floculación-sedimentación.	C	A	B	C	A
Bomba de turbina vertical para agua clara de 150 lps vs. 97 m.	C	A	C	A	A
Motor vertical, de 250 HP, 460 Voltios, trifásico	B	A	C	A	A
Bomba vertical de flujo mixto para retrolavado de los filtros de 270 lps vs. 6 m.	C	A	C	A	A
Motorvertical, de 40 HP, 460 Voltios, trifásico	B	A	C	A	A
Motorvertical, de 20 HP, 460 Voltios, trifásico	C	A	C	A	A

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Bomba de turbina vertical de agua de servicio de 25 lps vs. 40 m.	C	A	C	A	A
Sistema hidroneumático.	C	A	C	A	A
Dosificador volumétrico Merrick Omega 21-12 o similar con tanque disolvente.	A	C	A	B	A
Clorador de 500 lbs/día.	A	C	A	C	A
Inyector de 500 lbs/día.	A	C	A	C	A
Detector y alarma de cloro.	A	C	C	C	A
Válvula de gas cloro, diámetro ¾”.	A	C	A	C	A
Manómetro de 0-600 PSI con diafragma protectora para cloro.	A	C	A	C	A
Colador de línea de gas cloro, diámetro ¾”.	A	C	A	C	A
Llave wrench para válvulas cloro.	A	C	A	C	A
Manquera de gas cloro de largo 6’ especificadas por el Chlorine Institute.	A	C	A	C	A
Transformador trifásico en aceite 1500 KVA, 34.000 V-480 V conexión estrella triángulo.	A	A	A	A	A
Celda interperie para seccionador rompecargas de 34.000 V.	A	A	A	A	A
Generador diesel de emergencia, 1.500 KVA, 480 V, 3 fases, 60 Hz. Con tanque y container.	B	C	C	A	A

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Tablero autoportante de control central de motores (CCM) de 480 V,3 fases.	A	A	A	A	A
Tablero para planta eléctrica NLAB412AB50 NEMA 1.	A	C	C	A	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 300 HP-460 V.	A	A	C	B	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 60 HP-460 V.	A	A	C	B	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 40 HP-460 V.	A	A	C	B	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 20 HP-460 V.	A	A	C	A	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorriente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 3 HP-208 V.	B	A	C	A	A

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorrente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 7,5 HP-208 V.	B	A	C	A	A
Caja para interperie metálica con interruptor cortacorrente, con pulsador y luces a mando a distancia para motor de 1 HP-208 V.	B	A	C	A	A
Cable de 34 KV monopolar #2.	A	A	C	C	A
Copa terminal para cables de 35KV monopolar #2.	A	A	C	A	A
Cable TTU - 500 MCM - 600 V.	A	A	C	A	A
Cable de TTU - 350 MCM - 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #1/0 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #2 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #4 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #6 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #8 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable de TTU - #10 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable TTU - #12 – 600 V.	A	A	C	A	A
Cable de control PVC/PVC 600 V 7X#14.	A	A	C	A	A
Cable de control PVC/PVC 600 V 3X#14.	A	A	C	A	A
Cable apantallado 2X#18.	A	A	C	A	A
Brida de acero con cuello para soldar 10 "	C	B	C	B	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Válvula mariposa de 10" clase 250 bridada ANSI B16.5.	C	B	C	B	B
Válvula check tilted disc 10" clase 250 tipo monoblock bridado ANSI B16.5	C	B	C	B	B
Interruptor de 2500 A, uso interior.	B	C	C	B	B
Polipasto de 2 toneladas.	B	C	C	B	B
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 10".	C	B	C	B	B
Junta de desmontaje, diámetro 10" de acero al carbono.	C	B	C	B	B
Brida diámetro 10" acero al carbono.	C	B	C	B	B
Tee P/soldar, diámetro 6"X4" de acero.	C	B	C	B	B
Surtidor de químicos de polietileno, diámetro 250 mm.	B	C	C	B	B
Válvula de compuerta de H. F. Extremos con bridas roscadas #125 diámetro 10" stockham G-623.	C	B	A	B	B
Válvula check, diámetro 10" asiento EPDM.	C	B	C	B	B
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 12".	C	B	C	B	B
Tubería de acero al carbono diámetro 16", espesor 9,53 mm.	C	B	C	B	B
Válvula de cuchilla, diámetro 16" clase 150 con cilindro de aire.	C	B	C	B	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Válvula mariposa, diámetro 12" actuador con volante.	C	B	C	B	B
Válvula tipo check, diámetro 12" asiento EPDM.	C	B	C	B	B
Junta de desmontaje diámetro 12".	C	B	C	B	B
Codo ASME diámetro 16".	C	B	C	B	B
Codo ASME diámetro 12".	C	B	C	B	B
Tee ASME diámetro 16"x12".	C	B	C	B	B
Reductor ASME diámetro 16"x12".	C	B	C	B	B
Bridas de acero al carbono diámetro 12".	C	B	C	B	B
Bridas de acero al carbono diámetro 16".	C	B	C	B	B
Manómetro de 0-150 PSI salida de ½".	C	B	C	B	B
Soplador de capacidad de CFM, 5 PSI, 60 HP salida y entrada de 6"x6".	C	C	B	B	B
Tubería de acero al carbono, diámetro 16", espesor 9,53 mm.	C	B	C	B	B
Válvula de cuchilla, diámetro 16" clase 150 con actuador de cilindro de aire.	C	B	C	B	B
Tee ASME diámetro 16"x12".	C	B	C	B	B
Brida de acero al carbono, diámetro 16".	C	B	C	B	B
Grúa de 3 toneladas, luz 7 m, traslación 35 m.	B	C	C	B	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Grúa de 2 toneladas, luz 7 m, traslación 15 m.	B	C	C	B	B
Tolva con vibrador, válvula y junta, Merrick	C	C	B	B	B
Válvula globo, diámetro ½" de bronce Crane	B	C	B	C	B
Válvula de globo, diámetro 1 ½" de bronce Crane	B	C	B	C	B
Válvula de globo, diámetro 2" de bronce Crane	B	C	B	C	B
Juego de manómetros de 0 a 100 PSI.	B	C	B	C	B
Válvula de globo, diámetro 1".	B	C	B	C	B
Balanza hidráulica para 2 cilindros.	C	C	B	C	B
Válvula de globo de bronce, diámetro 2" crane o similar.	B	C	B	C	B
Codo roscado de acero inoxidable diámetro 1-½" #150.	B	C	B	C	B
Codo roscado de acero inoxidable diámetro 2" #150.	B	C	B	C	B
Codo PEAD diámetro 63 mm.	B	C	B	C	B
Unión universales a/inox diámetro 1-½".	B	C	B	C	B
Unión universales a/inox diámetro 2".	B	C	B	C	B
Tee roscada de a/inox diámetro 2"X1-½".	B	C	B	C	B
Threadolet de 2"X6".	B	C	B	C	B
Adaptador de rosca X PEAD 75 mm.	B	C	B	C	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Boquilla bete de acero inoxidable diámetro 1".	B	C	B	C	B
Codo de acero inoxidable roscado diámetro 1- ½ ".	B	C	B	C	B
Codo PEAD SDR17 diámetro 200 mm.	B	C	B	C	B
Yee de PEAD SDR17 diámetro 200 mm X 160 mm.	B	C	B	C	B
Kit B de reparaciones de cloro.	B	C	C	C	B
Codo PEAD 90 gr diámetro 75 mm PN8.	C	C	B	C	B
Codo de hierro forjado roscado de diámetro 3/4" para 3000 PSI.	B	C	B	B	B
Tee de hierro forjado roscado de diámetro ¾" para 3000 PSI.	B	C	B	B	B
Acople de bridas de amoniaco de 3000 PSI diámetro ¾".	B	C	B	B	B
Adaptador de brida PEAD de diámetro 75 mm.	B	C	B	B	B
Adaptador de brida de CPVC diámetro 3".	B	C	B	B	B
Acople de PEAD electrofundente diámetro 75 mm.	B	C	B	B	B
Tapa ciega de PEAD electro fundente diámetro 75 mm.	B	C	B	B	B
Niple de acero inoxidable diámetro 2" y largo 8 cm.	B	C	B	B	B
Niple de acero inoxidable de diámetro 2" y largo 15 cm.	B	C	B	B	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ”.	B	C	B	C	B
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 2”.	B	C	B	C	B
Tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 6”.	B	C	B	C	B
Tubería PEAD SDR26, diámetro 63 mm.	B	C	B	C	B
Tubería PEAD SDR26, diámetro 75 mm.	B	C	B	C	B
Manguera de lona para 150 PSI, diámetro 3”.	B	C	B	C	B
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1”.	B	C	B	C	B
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ”.	C	C	B	C	B
Tubería de PEAD SDR26, diámetro 160 mm.	B	C	B	C	B
Tubería de PEAD SDR26, diámetro 200 mm.	B	C	B	C	B
Tubería de PVC, diámetro 3”.	B	C	B	C	B
Tubería PEAD SDR17, diámetro 75 mm.	B	C	B	C	B
Acero al carbono SCH80, diámetro ¾”.	B	C	B	C	B
Tablero autoportante de uso interior para casa de servicios de iluminación.	B	C	C	B	B

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Tablero uso interior con interruptor principal, de 208 V/120 V para alimentación de casa de químicos.	B	C	C	B	B
Brida de acero con cuello para soldar diámetro 8"	C	C	C	C	C
Válvula mariposa de 8" clase 250 bridada ANSI B16.5.	C	C	C	C	C
Manguera flexible de caucho para descarga de bombas de diámetro 10".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 8".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 4".	C	C	C	C	C
Junta de desmontaje, diámetro 8" de acero al carbono.	C	C	C	C	C
Junta de desmontaje, diámetro 6" de acero al carbono.	C	C	C	C	C
Brida slip-on, diámetro 8" de acero al carbono.	C	C	C	C	C
Brida diámetro 6".	C	C	C	C	C
Brida ciega de acero al carbono diámetro 8".	C	C	C	C	C
Brida slip-on de acero al carbono, diámetro 4".	C	C	C	C	C
Brida ciega de acero al carbono, diámetro 4".	C	C	C	C	C
Codo ASME diámetro 6".	C	C	C	C	C

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Codo P/soldar de acero, diámetro 8" #150.	C	C	C	C	C
Válvula de compuerta H. F. diámetro 8" clase 125.	C	C	C	C	C
Válvula de compuerta H. F. Extremos con bridas roscadas #125, diámetro 6" stockham G-623.	C	C	C	C	C
Válvulas de compuerta de H. F. clase 125 diámetro 4".	C	C	C	C	C
Válvula check diámetro 4" bridada.	C	C	C	C	C
Mira graduada.	C	C	C	C	C
Medidor de caudal.	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable CH40 diámetro 1- ½ ".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable SCH40 diámetro 4".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable SCH40 diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 8".	C	C	C	C	C
Válvula de compuerta, diámetro 6" de hierro fundido, bridas clase 125.	C	C	C	C	C
Tubería PEAD 160mm SDR17.	C	C	C	C	C
Tapa PEAD 160 mm.	C	C	C	C	C

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Válvula de cuchilla, diámetro 6" clase 150 con actuador de cilindro de aire.	C	C	C	C	C
Válvula mariposa, diámetro 6" actuador manual.	C	C	C	C	C
Válvula check, diámetro 6" asiento EPDM.	C	C	C	C	C
Pupitre de control de filtros con valvulería.	C	C	C	C	C
Codo roscado de acero inoxidable, diámetro 1-1/2" #150.	C	C	C	C	C
Codo ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4", 90 grados.	C	C	C	C	C
Codo ASME diámetro 6".	C	C	C	C	C
Weldolets diámetro 1-1/2"X4" de acero inoxidable.	C	C	C	C	C
Tee P/soldar diámetro 6"X4" de acero.	C	C	C	C	C
Tee P/soldar diámetro 8"X6" de acero.	C	C	C	C	C
Bridas slip-on de acero al carbono diámetro 6".	C	C	C	C	C
Brida slip-on de acero al carbono diámetro 8".	C	C	C	C	C
Bridas ciegas de acero al carbono diámetro 8".	C	C	C	C	C
Unión universales a/inox diámetro 1- 1/2 ".	C	C	C	C	C
Tapa ASME 150 de acero inoxidable, diámetro 2".	C	C	C	C	C
Reductor ASME 150 de acero inoxidable diámetro 6"X4".	C	C	C	C	C

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Reductor ASME diámetro 4"X6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40 diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 1- ½ ".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 4".	C	C	C	C	C
Tubería de acero inoxidable SCH40, diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería de acero al carbono SCH40, diámetro 8".	C	C	C	C	C
Válvula de compuerta, diámetro 6" de hierro fundido, bridas clase 125.	C	C	C	C	C
Codo ASME diámetro 6".	C	C	C	C	C
Tubería PEAD 160mm SDR17.	C	C	C	C	C
Tapa PEAD 160 mm.	C	C	C	C	C
Bushing de acero inoxidable de 3/4"X1".	C	C	C	C	C
Válvula de cuchilla, diámetro 6" clase 150 con actuador de cilindro de aire.	C	C	C	C	C
Codo roscado de acero inoxidable diámetro 1- ½ " #150.	C	C	C	C	C
Codo ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4", 90 grados.	C	C	C	C	C

Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento	Criticidad
Codo ASME diámetro 6".	C	C	C	C	C
Weldolet diámetro 1- ½ " de acero inoxidable.	C	C	C	C	C
Tee P/soldar diámetro 6"X4" de acero.	C	C	C	C	C
Tee P/soldar diámetro 8"X6" de acero.	C	C	C	C	C
Brida slip-on de acero al carbono diámetro 6".	C	C	C	C	C
Unión universal a/inox diámetro 1-1/2".	C	C	C	C	C
Reducción ASME 150 de acero inoxidable diámetro 4"X6".	C	C	C	C	C
Brida de acero inoxidable diámetro 6"	C	C	C	C	C
Tanque de concreto armado semienterrado, de 14,10 m de ancho X 14,10 m de largo con 5,30 m de profundidad.	C	C	C	C	C
Yugo para conexión de cilindros.	B	C	C	C	C
Tanque de concreto armado semienterrado, de 14,10 m de ancho X 14,10 m de largo con 5,30 m de profundidad.	C	C	C	C	C
Yugo para conexión de cilindros.	B	C	C	C	C

### **Apéndice 3: Plan de Mantenimiento**

#### **Apéndice 4: Programa de Mantenimiento**

## **Apéndice 5: Herramienta para el control de Indicadores Diseñados**

**Apéndice 5: Herramienta para el seguimiento de las órdenes de trabajo**

