

Plan de Mantenimiento Preventivo de la Infraestructura Civil de la PTAP de Morrорico

Jhonatan Steevens López Parra

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Andrés Almeyda Ortiz

Magister en Recurso Hídricos y Saneamiento Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

### **Agradecimientos**

Dedicado a mis padres, Blanca Ruth Parra Torres y Álvaro López Pinzón, quienes han sido mi motor y apoyo durante estos años, brindándome confianza ante cualquier obstáculo.

A mi director de proyecto, Andrés Almeyda Ortiz y al Ing, Jolman Lozano Pico, quienes me compartieron su conocimiento en el desarrollo de este proyecto.

Y en última instancia y no menos importantes, a Alexandra Siabato Orduz y Lina María Mancipe Rivera, grandes personas que me acompañaron durante este proceso.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Objetivos .....	12
1.1. Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos Específicos .....	12
2. Marco Referencial .....	13
2.1. Plantas de tratamiento.....	13
2.2. Proceso de potabilización .....	13
2.3. Plantas del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga .....	15
2.4. Mantenimiento.....	15
2.4.1.El mantenimiento en la industria a través de la historia.....	16
2.5. Ejemplos de aplicación planes de mantenimiento preventivo en PTAP .....	17
2.6. Estrategias de mantenimiento .....	19
2.7. Criticidad .....	21
2.7.1. Metodología para Bernardo Torres .....	22
2.7.1.1. Criterio de producción. ....	22
2.7.1.2. Criterio de calidad.....	22
2.7.1.3. Criterio de mantenimiento.....	22
2.7.2. Metodología AMFE (análisis modal de fallos y efectos).....	23
2.8. Naturaleza de los componentes (Tipo de proceso de los componentes).....	23
2.9. Fichas técnicas .....	24
2.9.1. Asignación de códigos.....	24

3. Metodología .....	25
3.1. Identificación de equipos .....	25
3.2. Recolección de información .....	26
3.2.1. Naturaleza del proceso .....	26
3.2.2. Subprogramas .....	27
3.2.3. Codificación .....	28
3.3. Análisis de criticidad .....	29
3.3.1. Criterio de producción .....	31
3.3.2. Criterio de calidad .....	32
3.3.3. Criterio de mantenimiento .....	34
3.3.4. Cálculo de la criticidad .....	36
3.3.5. Frecuencias de mantenimiento .....	37
3.4. Instrumento final .....	38
4. Desarrollo y discusión .....	39
4.1. Equipos e infraestructura .....	40
4.2. Actividades de mantenimiento .....	40
5. Conclusiones .....	43
6. Recomendaciones .....	44
Referencias Bibliográficas .....	45

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación por procesos .....	26
Tabla 2. Subprogramas .....	27
Tabla 3. Utilización del equipo.....	31
Tabla 4. Existencia del equipo auxiliar.....	32
Tabla 5. Repercusión en cadena productiva .....	32
Tabla 6. Pérdidas en la producción .....	33
Tabla 7. Repercusión del equipo en la seguridad y el medio ambiente .....	33
Tabla 8. Repercusión del equipo en la calidad del producto .....	34
Tabla 9. Tasa de marcha .....	35
Tabla 10. Grado de complejidad tecnológica del equipo.....	35
Tabla 11. Cálculo criticidad bomba dosificadora de polímero. ....	36

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Objetivos del mantenimiento.....	20
Figura 2 Estrategia usada para la formulación del mantenimiento preventivo.....	25
Figura 3 Codificación general.....	28
Figura 4 Codificación báscula polímero .....	29
Figura 5 Diagrama de flujo para el cálculo de criticidad.....	30
Figura 6 Formato fichas técnicas .....	39

### **Lista de Apéndices**

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Codificación de equipos PTAP Morrорico

Apéndice B. Fichas técnicas equipos PTAP Morrорico

Apéndice C. Análisis de criticidad equipos PTAP Morrорico

Apéndice D. Actividades y frecuencias de mantenimiento PTAP Morrорico.

Apéndice E. Definición subprogramas

## Resumen

**Título:** Plan de Mantenimiento Preventivo de la Infraestructura Civil de la PTAP de Morrórico\*

**Autor:** Jhonatan Steevens López Parra\*\*

**Palabras Clave:** Plantas de tratamiento, Potabilización, Mantenimiento preventivo, Criticidad, Equipos, Infraestructura

### Descripción:

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo se hace de vital importancia al momento de garantizar la operatividad de los equipos y sistemas involucrados en los procesos desarrollados en las plantas de tratamiento de agua potable, las cuales son uno de los medios más representativos de aprovechamiento de agua para consumo humano, estas tienen como finalidad procesar el agua captada de una fuente hídrica hasta que sea apta para el abastecimiento de una comunidad. Actualmente el amb no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo actualizado para los equipos usados en el proceso de potabilización de la planta de Morrórico, ubicada en la ciudad de Bucaramanga, tampoco cuenta con actividades con frecuencias definidas para elementos de infraestructura; siendo así, en el presente artículo se elaboró un plan de mantenimiento preventivo, para llevar a cabo lo anteriormente escrito, fue necesaria la comprensión del proceso de potabilización, conocimiento del estado de los equipos empleados, el funcionamiento y las características de estos mediante visitas a la planta y charlas con el personal encargado del mantenimiento. Como resultado se plantean subprogramas pertenecientes a cada proceso realizado en la planta, además se realizó un análisis de criticidad correspondiente a cada equipo, y de esta manera generar sus frecuencias de mantenimiento, finalmente se listaron sus actividades, estas definidas por estudios similares, personal de la planta y por medio de manuales de proveedores para cada elemento del sistema.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Andrés Almeyda Ortiz. Magister en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental.

### Abstract

**Title:** Preventive Maintenance Plan of the Civil Infrastructure of the Morrорico PTAP\*

**Author:** Jhonatan Steevens López Parra \*\*

**Key Words:** Treatment plants, Potabilization, Maintenance plan, Criticity, Equipment, Infraestructure

### Description:

The design of a preventive maintenance plan is of vital importance when guaranteeing the operability of the equipment and systems involved in the processes developed in drinking water treatment plants, which are one of the most representative means of taking advantage of water for human consumption, these are intended to process the water captured from a water source until it is suitable for supplying a community. Currently the environment does not have an updated preventive maintenance plan for the equipment used in the purification process of the Morrорico plant, located in the city of Bucaramanga, nor does it have activities with defined frequencies for infrastructure elements; Thus, in this article a preventive maintenance plan was drawn up, to carry out the aforementioned, it was necessary to understand the purification process, knowledge of the state of the equipment used, the operation and characteristics of these through visits to the plant and talks with the personnel in charge of maintenance. As a result, subprograms pertaining to each process carried out in the plant are proposed, in addition a critical analysis corresponding to each equipment was carried out, and in this way to generate their maintenance frequencies, finally their activities were listed, these defined by similar studies, personnel from the plant and through supplier manuals for each element of the system.

---

\* Degree Work

\*\*Faculty of Physicomechanics. School of Civil Engineering. Director: Andrés Almeyda Ortiz. Master's in water resources and Environmental Management.

## **Introducción**

El abastecimiento de agua es una necesidad fundamental en la vida diaria de las personas, tanto para el consumo propio como para uso en labores del hogar, agricultura, entre otras (Frank & McCallion, 1995). En Colombia, para el caso del consumo humano y animal, el tratamiento del agua requiere las máximas exigencias descritas por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y hacer omisión de estas desencadenaría en problemas de salubridad para la población (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico [RAS], 2000).

Cabe destacar que las plantas de tratamiento de agua potable son fundamentales dicho objetivo, y que los procesos que en estas se llevan a cabo deben mantener un correcto funcionamiento, para ello es conveniente que todos los componentes del sistema se encuentren en óptimas condiciones con el fin de evitar imprevistos que impidan cumplir a cabalidad con su propósito, por lo que es indispensable la formulación e implementación de planes de mantenimiento correctivos y/o preventivos (Cansino Flores & Lucero Diaz, 2015). Es importante mencionar que las ventajas del mantenimiento preventivo sobre el correctivo son varias, por ejemplo, mayor tiempo de vida útil de los equipos, predicción en las posibles fallas, evasión de interrupciones de procesos mientras se realiza un mantenimiento correctivo, evitando demoras en ciertos procesos como los de producción y distribución de aguas en la población que estas plantas abastecen, por lo anterior se puede apreciar que realizar un mantenimiento preventivo es más eficiente en términos de operatividad y economía (Escobar Bautista & Flores Armas, 2018).

Es así como en este estudio se hizo un plan de mantenimiento de tipo preventivo para la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Morrórico en la ciudad de Bucaramanga, debido a que esta carece de un plan actualizado que permita su operatividad en óptimas condiciones; además esta planta aporta una producción de agua potable considerable, siendo esta del 15,4% en el año 2018, equivalente a 11.050.750 m<sup>3</sup> de agua potable suministrada a los habitantes al área metropolitana de Bucaramanga. Para esto se realizó el respectivo estudio a los equipos y la infraestructura que hace parte del proceso de potabilización, el cual permitió elaborar un análisis de criticidad para finalmente obtener un plan de mantenimiento (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga [AMB], 2018).

La estructura del documento es la siguiente: en la sección 2 se presenta el marco teórico en el cual sustenta esta investigación, subsecuente en la sección 3 se explica a detalle la metodología utilizada para la recolección de información y el procesamiento de esta, luego se tiene la sección 4 en la cual presentan los resultados y el análisis y finalmente la sección 5 contiene las conclusiones del estudio.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo de la infraestructura civil de la planta de tratamiento de agua potable de Morrорrico del amb. ESP.

### **1.2. Objetivos Específicos**

Realizar el inventario de los equipos existentes, generando formatos para sus fichas técnicas.

Elaborar un análisis de criticidad.

Redactar instructivos, formulando y programando rutinas de mantenimiento que mejoren la confiabilidad operacional.

## **2. Marco Referencial**

Las plantas de tratamiento de agua están conformadas por un conjunto de sistemas y procesos, los cuales son de tipo físico, químico o biológico; estas tienen como objetivo eliminar o reducir la contaminación de características no deseables de las aguas, ya sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales (Aguasistec, s.f.).

El objetivo final de este conjunto de procesos es obtener aguas con las características aptas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas captadas como de su destino final (Aguasistec, s.f.).

### **2.1. Plantas de tratamiento**

Las plantas de tratamiento como su nombre lo indica, son estructuras destinadas al tratamiento de aguas; según los procesos que en estas se realizan y su objetivo, se pueden clasificar en dos tipos: Plantas de tratamiento de agua potable y Plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **2.2. Proceso de potabilización**

Este proceso, el cual se lleva a cabo en las plantas potabilizadoras, consiste en tratar el agua captada de alguna fuente hídrica hasta obtener como resultado agua apta para el consumo humano.

Actualmente existen 4 tipos de plantas potabilizadoras, estas pueden ser de tipo convencional, compactas, de filtro lento y de tratamiento modular, cada una de estas se usa en

función de las características geográficas, puesto que la calidad del agua cambia dependiendo del lugar donde se encuentre (Acuatecnica S.A.S., 2016).

Siendo la planta en cuestión de tipo convencional, las fases que intervienen en este proceso son:

**Coagulación:** La coagulación, consiste en la neutralización de partículas coloidales, mediante el agregado de cargas de signo positivo, a través de un producto llamado coagulante, generalmente sulfato de aluminio (Florez, 2014).

**Floculación:** Una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas coaguladas se ponen en contacto, mediante agitación lenta prolongada, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad, creando lo que se conoce como flocs (Florez, 2014).

**Sedimentación:** Después de la adición de coagulantes y de la floculación, la sedimentación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal (Florez, 2014).

**Filtración:** En esta fase se remueve la turbiedad y se impide la interferencia de esta con la desinfección; al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante (Florez, 2014).

**Desinfección:** Tiene por objetivo garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos (que puedan afectar la salud) (Florez, 2014).

### **2.3.Plantas del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga**

Actualmente el amb cuenta con 4 Plantas de Tratamiento de Agua Potable, como lo son: la Planta Bosconia, la Planta la Flora, la Planta Floridablanca y la Planta Morrорico, siendo esta última en la cual hace énfasis el presente artículo.

La PTAP de Morrорico se encuentra localizada al Oriente de la carrera 44A entre la avenida Quebrada Seca y Calle 32 de la ciudad de Bucaramanga, entre las cotas 1050 y 1081 msnm. La planta es del tipo convencional, con canaleta Parshall para la medición de caudal y mezcla rápida, floculación hidráulica, sedimentación y filtración de alta tas. Su capacidad instalada es 400 l/s. (AMB, 2017).

En el proceso de coagulación, se adicionan químicos como Sulfato de Aluminio Tipo B y policloruro de aluminio, y para el proceso de desinfección se aplica cloro gaseoso, y además se realiza precloración para evitar algas en las estructuras (*Evaluación Integral de Prestadores Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P – AMB S.A. E.S.P.*, 2018).

### **2.4. Mantenimiento**

La función principal del mantenimiento consiste en supervisar y advertir que un sistema ha bajado su fiabilidad, el cual se define como la probabilidad de que un equipo funcione

adecuadamente durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones operativas específicas, para que inmediatamente se proceda a realizar actividades que permitan que este regrese a su condición normal. Anticiparse a una posible falla de esta forma es calificado como mantenimiento preventivo, ya que se está garantizando que el recurso opere en su estado óptimo, lo que permite que el servicio continúe dentro de los parámetros establecidos, en caso contrario se pierde la calidad del servicio (Villanueva, Pérez-Tagle, & de León, 1989).

#### ***2.4.1. El mantenimiento en la industria a través de la historia***

El mantenimiento ha tenido una constante evolución histórica y con ello un impacto considerable en cualquier industria.

Con la llegada del siglo XX nace el mantenimiento tal como hoy día lo entendemos. Sin embargo, es preciso admitir que su origen está, sin lugar a duda, ligado a la aparición de las primeras máquinas que el hombre utilizó. Resulta lógico pensar que, junto con el uso de las primitivas y más rudimentarias herramientas, debía coexistir algún tipo de cuidados, encaminados a mantener sus características constructivas o mejorar su rendimiento (Gómez de León, 1998).

El mantenimiento de equipos y máquinas, como actividad organizada, se aplica por vez primera en fundiciones de los Estados Unidos, y en submarinos y aviones militares durante la Primera Guerra Mundial. Más tarde, hacia el año 1920, el mantenimiento y las primeras técnicas de verificación mecánica ya se practicaban en granjas agrícolas y transportes (Gómez de León, 1998).

Al aumentar el grado de complejidad de la mecanización, aparecieron las ingenierías especializadas (eléctrica, mecánica, química, etc) y se empiezan a desarrollar nuevos conceptos en mantenimiento como fiabilidad y mantenimiento preventivo (1950), mantenimiento productivo (1954), método de la ruta crítica (1957), ingeniería del valor (1962) y mantenimiento productivo total en la década de los 70's (Villada Duque, 2013, p. 7).

Colombia al igual que los demás países en vías de desarrollo estaban un poco rezagados con respecto a las tendencias mundiales en lo que a mantenimiento se refiere; pero fenómenos como la internacionalización de la economía donde se está obligado a competir en mercados globales han forzado al sector productivo local a cambiar su filosofía de mantenimiento de correctivo a preventivo con la aplicación de todos los procesos y desarrollos tecnológicos que se han conseguido alrededor del mismo (Villada Duque, 2013, p. 7).

## **2.5. Ejemplos de aplicación planes de mantenimiento preventivo en PTAP**

- ✓ PTAP del municipio de Muzo – Boyacá: Uno de los tantos ejemplos de la deficiencia de una Planta de Tratamiento de Agua Potable debido a la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo, fue el observado la PTAP del municipio de Muzo-Boyacá, puesto que al iniciar el diseño de un plan de mantenimiento, este arrojó un estado deficiente de los equipos y el funcionamiento de la misma planta, lo anterior debido a la carencia de un programa de mantenimiento desde su construcción, por lo cual para corregir estas deficiencias se estableció la periodicidad de los mantenimientos preventivos para el dosificador de sustancias químicas, mezcladores, floculadores mecánicos, sedimentadores, filtros y

cloradores que constituyen los equipos de la PTAP y de los que dependen los procesos de funcionamiento de la misma. Para ello se definieron acciones diarias, mensuales, trimestrales, según el caso, semestrales y anuales, con las que se espera garantizar el óptimo funcionamiento de la planta en el tiempo (Peña Sánchez, 2017).

- ✓ PTAP de los campamentos Tacuá y Cuní: Del mismo modo, un caso más reciente es el presentado en la planta de tratamiento de los campamentos Tacuá y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango, en el cual el objetivo fue un mejoramiento en su plan de operación y mantenimiento (Marín Ortiz, 2020).

Mediante este plan, se identificaron las falencias más características, como lo fueron: Fallos en el proceso de desinfección, alta acumulación de lodos en el fondo de los sedimentadores debido a la turbiedad del agua durante la temporada de lluvias, y por último presencia de caracoles en los tanques de floculación en vista de la poca atención que se le prestaba a su mantenimiento (Marín Ortiz, 2020).

Asimismo, las soluciones presentadas en el proyecto mencionado fueron en general, disminuir la periodicidad de sus actividades, esto resultó en un agua de mejor calidad, presentando ausencia de microorganismos y de agentes químicos que pudieran llegar a afectar la salud de las personas permanentes y visitantes de los campamentos Tacuá y Cuní (Marín Ortiz, 2020).

## 2.6. Estrategias de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento se clasifican según el momento en que se ejecute el proceso y el objetivo que este debe cumplir (Figueroa, 2015). Además, existen diversos factores que comprenden el ámbito operacional, seguridad ambiental y de los trabajadores, los costos de mantención, la frecuencia de fallas, entre otras, lo cual quiere decir que, en cada caso es único y por ende no existe una misma estrategia de mantenimiento óptima, sino que es situacional (Figueroa, 2015). La estrategia puede estar dirigida a garantizar la operación de un equipo, asegurando así, un correcto funcionamiento en su vida útil o a la minimización de los costos ocasionados por fallas (Figueroa, 2015).

Una buena estrategia de mantenimiento debe cumplir con 3 parámetros básicos, los cuales son:

- ✓ Disponibilidad: Se define como la capacidad de un componente, equipo o instalación de realizarla función para la cual fueron diseñados (Martinez, 2007).
  
- ✓ Seguridad: Es la condición o característica que implica una reducción del riesgo que deriva de la operación de una instalación, riesgo al cual se encuentra sometido el personal de la organización, así como su posible impacto sobre el medio ambiente y la comunidad (Martinez, 2007).

- ✓ Economía: Situación de buen rendimiento que deriva de administrar la organización dentro de un esquema de minimización de costos y maximización de los beneficios (Martinez, 2007).

A continuación, se muestra la relación que tienen los 3 parámetros anteriormente definidos en una organización:

### Figura 1

#### *Objetivos del mantenimiento*



En términos generales, las estrategias de mantenimiento son las siguientes:

- ✓ Mantenimiento preventivo o basado en las horas de operación.
- ✓ Mantenimiento predictivo o basado en la condición de las máquinas.
- ✓ Mantenimiento proactivo para evitar aparición o recurrencia de fallas. Atacan la causa de la falla y no el efecto de esta. Por esta razón, se debe aplicar a lo largo de toda la vida del equipo.
- ✓ Mantenimiento reactivo o correctivo que se aplica luego de aparecer una falla (Figuroa, 2015).

En el presente artículo se hizo un plan de mantenimiento preventivo, puesto que es aquel que tiene más ventajas, este permite alargar la vida útil de los equipos usados en el proceso de potabilización, predicción de las posibles fallas que se puedan presentar y evitar interrupciones de procesos debido a imprevistos en los equipos (Figueroa, 2015).

## **2.7. Criticidad**

El Análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, optimizando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional (Díaz & Benítez, 2012, p. 24).

Al tener jerarquizado los sistemas y equipos, de manera que se conocen cuáles son los más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los planes de mantenimiento: predictivo, preventivo, correctivo e inclusive posibles rediseños (Mora & Rodríguez, 2016).

Existen varios estudios y análisis de los modelos de criticidad en diferentes plantas y empresas de diferentes países, la elección del modelo de criticidad depende de las experiencias y vivencias de los especialistas en cada planta, permitiendo de esta manera la obtención de los modelos que respondan con mayor exactitud a las características propias y específicas de las mismas (Hourné-Calzada et al. , 2012).

### **2.7.1. Metodología para Bernardo Torres**

En esta metodología se encuentran varios criterios para determinar la criticidad, los cuales están basados en los aspectos más importantes que influyen en la operación de un equipo dentro de una empresa, los cuales son: criterio de producción, calidad y mantenimiento (Pacheco Valencia, 2005).

**2.7.1.1. Criterio de producción.** Tiene en cuenta aquellos criterios vitales que podrían llegar a afectar el proceso productivo, como puede ser, una parada de emergencia que retrase la producción, ocasionando pérdida en la calidad del producto o aumento considerable de gastos en mantenimiento (Pacheco Valencia, 2005).

**2.7.1.2. Criterio de calidad.** El fallo de un equipo genera una alteración en flujo y en el ciclo de un proceso productivo, generando variaciones de pureza y calidad del producto final, a la vez que genera pérdidas por los gastos adicionales y por la disminución de la calidad (Pacheco Valencia, 2005).

**2.7.1.3. Criterio de mantenimiento.** Para las labores de mantenimiento en los equipos es necesario tomar en cuenta los tiempos en que éstos se encuentran en funcionamiento, ya que el tiempo en que no lo están podría permitir la ejecución de actividades programadas de mantenimiento, por otro lado, la complejidad con la que se deban realizar estas actividades puede llevar a largas paradas en la producción donde se verá aumentado el tiempo improductivo de los mismos, a la vez que los costos de mantenimiento (Vargas López & Verjan Pérez, 2016).

### **2.7.2. Metodología AMFE (análisis modal de fallos y efectos)**

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) permite identificar las fallas potenciales de un producto o un proceso y, a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas (Pico, 2016).

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la siguiente expresión (Ramirez & Moreno, 2017):

$$NPR = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección \quad (1)$$

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF (Ramirez & Moreno, 2017).

### **2.8. Naturaleza de los componentes (Tipo de proceso de los componentes)**

En una planta de tratamiento se pueden encontrar equipos de diferente naturaleza, cada uno de ellos cumple una función específica en el proceso de potabilización, por esto para elaborar un óptimo plan de mantenimiento se deben caracterizar por su impacto en la cadena de producción,

estos pueden ser misionales o de apoyo. Los misionales son aquellos que tienen influencia directa con el proceso de potabilización, y los de apoyo son aquellos que no repercuten significativamente. En los procesos misionales se pueden encontrar: medición, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Si algún equipo perteneciente al proceso misional presenta una falla, puede afectarse considerablemente el producto final (Florez, 2014).

## **2.9. Fichas técnicas**

Una ficha técnica es un documento en el cual se consolidan las especificaciones técnicas que se requieren para realizar un seguimiento a un producto, con el fin de garantizar la comunicación entre distintas dependencias que interactúen con este, en el caso del presente artículo se usaron fichas técnicas como medio para plasmar las especificaciones técnicas de los equipos, el tipo de mantenimiento a realizar y su frecuencia, de forma que el personal encargado de realizar estas actividades tenga total claridad del proceso a realizar (Moreno, 2016).

### ***2.9.1. Asignación de códigos***

La asignación de códigos para cada equipo es una herramienta de vital importancia para la gestión de un plan de mantenimiento, esta consiste en nombrar cada equipo de manera que se facilite la ubicación y búsqueda de los equipos en cualquier situación de forma organizada y eficiente (Castro Alvarez, 2006).

### 3. Metodología

Para llevar a cabo la metodología de forma ordenada, esta se organizó por medio del siguiente diagrama, en el cual el punto de partida inicial es la identificación de los equipos y así listarlos, paso siguiente fue el análisis de criticidad, de esta forma se pudo definir cuáles equipos son de mayor relevancia y así asignarle una frecuencia de mantenimiento para posteriormente finalizar con la generación de fichas técnicas (Benjumea Aguirre, 2009).

**Figura 2**

*Estrategia usada para la formulación del mantenimiento preventivo.*



#### 3.1. Identificación de equipos

La identificación de los equipos se realizó visitando la planta de potabilización de Morrорico, en ella se identificaron 92 equipos, también se distinguieron las fases que intervienen en el proceso de potabilización: medición, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, además se reconocieron los equipos que hacen parte de cada una de las etapas mencionadas anteriormente, así como sus funciones y su estado.

### 3.2. Recolección de información

Una vez se tuvo conocimiento de los equipos partícipes en las fases del proceso, ya sean misionales o de apoyo, se procedió a realizar el listado con información relevante de cada uno de estos, tal como: codificación, marca, modelo y naturaleza del proceso que realiza.

En el Apéndice A se pueden encontrar los equipos de la planta de tratamiento de Morrórico, identificando cuáles pertenecen a procesos misionales (M), y cuáles son de apoyo (A), también se enumeraron para facilitar el proceso de codificación.

#### 3.2.1. Naturaleza del proceso

Como paso inicial para listar los equipos se determinó el proceso al que pertenece cada uno de estos, las cuales pueden ser medición, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, y se le asignó un código, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación por procesos*

<b>Código</b>	<b>Proceso</b>
<b>ME</b>	Medición
<b>CG</b>	Coagulación
<b>FL</b>	Floculación
<b>SM</b>	Sedimentación
<b>FT</b>	Filtración
<b>DS</b>	Desinfección

Para la agrupación de los equipos en función del proceso que desarrollan y sus características, se generaron subprogramas, para los cuales se van a definir actividades y frecuencias de mantenimiento.

### 3.2.2. *Subprogramas*

Al tener el listado de equipos y el proceso que desarrollan, se consultó información por medio de manuales de proveedores y operarios encargados del mantenimiento de la Planta de Morrórico, con el fin de definir las actividades de mantenimiento de cada uno de estos. Se pudo notar que varios equipos tienen actividades de mantenimiento y funciones similares, por ello se procedió a la creación de subprogramas junto con sus respectivos códigos, los cuales son: actuadores, comunicaciones, caudalímetros, control, instrumentación, sensores, bombas, compuertas, motores, válvulas, cloradores, electricidad, tableros, tanques, sedimentadores, filtros, estructuras en concreto y emergencia.

**Tabla 2**

*Subprogramas*

<b>Código</b>	<b>Subprograma</b>
<b>AC</b>	Actuadores
<b>BO</b>	Bombas
<b>CA</b>	Caudalímetros
<b>CL</b>	Cloradores
<b>CO</b>	Compuertas
<b>COM</b>	Comunicaciones
<b>CON</b>	Control
<b>EC</b>	Estructuras concreto
<b>EL</b>	Electricidad
<b>EM</b>	Emergencia

<b>Código</b>	<b>Subprograma</b>
<b>FI</b>	Filtros
<b>IM</b>	Instrumentación
<b>MT</b>	Motores
<b>SD</b>	Sedimentadores
<b>SN</b>	Sensores
<b>TB</b>	Tableros
<b>TQ</b>	Tanques
<b>VL</b>	Válvulas

Al tener listados los subprogramas, se procedió a asignarlos a un tipo de proceso ya definido anteriormente, para así poder categorizar de una mejor forma sus actividades de mantenimiento, estas relaciones se presentan en el Apéndice A. Donde se podrá encontrar que algunos equipos se pueden desempeñar en varios procesos, como lo pueden ser las bombas.

### 3.2.3. Codificación

Luego de identificar el proceso al que pertenece cada equipo y la creación de los subprogramas, se realizó la codificación, de forma que se involucrará tipo de proceso, misional o de apoyo, luego el proceso al que pertenece, seguido el subprograma y finalmente el equipo, entonces el código estará especificado de la siguiente manera:

#### **Figura 3**

##### *Codificación general*



Un ejemplo del código establecido es el siguiente: Báscula polímero, en la cual se puede apreciar que la letra A significa que está catalogado como equipo de apoyo, FL, que se encuentra en el proceso de floculación, IM que hace parte del subprograma de Instrumentación, y el 27 es el número del equipo. La codificación de todos los equipos se encuentra en su respectiva ficha técnica en el Apéndice B.

#### **Figura 4**

*Codificación báscula polímero*



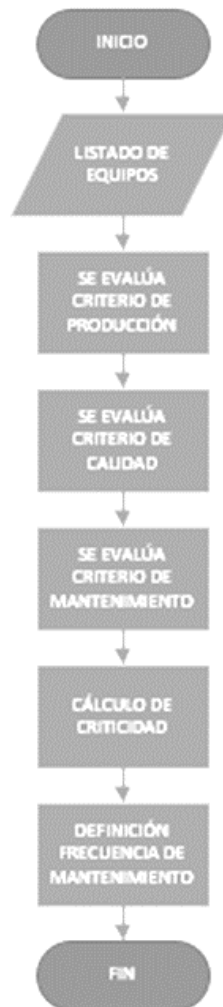
### **3.3. Análisis de criticidad**

El análisis de criticidad se llevó a cabo teniendo en cuenta diferentes criterios importantes durante el proceso y producto final, como lo son, repercusión en la producción, influencia en la calidad y complejidad del mantenimiento; estos indicadores cuentan con subcriterios y rangos de valores propios para tener mayor asertividad en la clasificación de los equipos, además son fundamentales en un proceso fuertemente ligado a la calidad de vida, como lo es la potabilización. Es importante mencionar que la metodología seleccionada se ajustaba a la información obtenida del amb (Torres, 2000, p. 35).

El proceso que se utilizó para determinar la criticidad de cada equipo se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 5**

*Diagrama de flujo para el cálculo de criticidad.*



Para llevar a cabo la evaluación de los aspectos enunciados en el anterior diagrama de flujo se hizo necesario programar visitas a la planta en cuestión y analizar los criterios mediante la ayuda del personal encargado del mantenimiento, desde los operarios hasta el jefe encargado del mantenimiento.

### 3.3.1. Criterio de producción

Para evaluar la producción se tuvo en cuenta 3 perspectivas (Torres, 2000, p. 35). :

- ✓ Utilización del equipo
- ✓ Existencia de equipo auxiliar
- ✓ Repercusión en cadena productiva

En las siguientes tablas se evidencia la clasificación de los equipos para cada una de las 3 perspectivas mencionadas anteriormente en función del criterio de producción.

A continuación, se muestra la clasificación para el primer criterio de producción, según la utilización del equipo.

**Tabla 3**

*Utilización del equipo*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	4	Superior al 80%
<b>Medio</b>	3	Entre el 50 y el 80%
<b>Bajo</b>	1	Inferior al 50%

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 35).

En la tabla 4 se observa la clasificación en función de la existencia de un equipo auxiliar, dado que se necesite suplir la falta de uno.

**Tabla 4***Existencia del equipo auxiliar*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	5	Sin posibilidad
<b>Medio</b>	3	Posibilidad de acceder al stock
<b>Bajo</b>	1	Existencia de duplicado

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 35).

Luego, para el último criterio de producción se clasifica según la influencia directa de un equipo en la cadena productiva.

**Tabla 5***Repercusión en cadena productiva*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	5	Influencia total
<b>Medio</b>	3	Influencia relativa
<b>Bajo</b>	1	Influencia nula

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 35).

### 3.3.2. *Criterio de calidad*

En el caso de la calidad, se evaluaron también 3 aspectos (Torres, 2000, p. 36).:

- ✓ Pérdidas en producción
- ✓ Repercusión en seguridad y medio ambiente

- ✓ Repercusión en la calidad

En las siguientes tablas se observa la clasificación que se tuvo en cuenta en cada aspecto según la calidad del producto.

La tabla 6 representa la clasificación en función de las pérdidas en la producción que puede influir algún equipo.

**Tabla 6**

*Pérdidas en la producción*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	4	Grandes pérdidas
<b>Medio</b>	2	Pérdidas relativas
<b>Bajo</b>	1	Pocas pérdidas

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 36).

En la siguiente tabla, se contempla el valor que se le puede dar a cada equipo según la repercusión en seguridad y medio ambiente que este tenga.

**Tabla 7**

*Repercusión del equipo en la seguridad y el medio ambiente*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	5	Riesgo fatal
<b>Medio</b>	3	Riesgo relativo
<b>Bajo</b>	1	Sin riesgo

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 36).

Posterior, en la tabla 8 se nota la clasificación que puede llegar a tener cada equipo según su repercusión en la calidad del producto.

**Tabla 8**

*Repercusión del equipo en la calidad del producto*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	5	Muy importante
<b>Medio</b>	3	Relativamente importante
<b>Bajo</b>	1	Sin influencia

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 36).

### 3.3.3. *Criterio de mantenimiento*

En este último criterio se evaluaron 2 aspectos (Torres, 2000, p. 37):

- ✓ Tasa de marcha
- ✓ Grado de complejidad tecnológica del equipo

En esta sección se tuvieron en cuenta las características para clasificar los equipos en función del criterio de mantenimiento.

La tabla 9 que se muestra a continuación, evalúa la tasa de marcha de los equipos, es decir, su uso en el proceso de potabilización.

**Tabla 9***Tasa de marcha*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	4	En servicio todos los turnos
<b>Medio</b>	2	En servicio por lo menos 1 vez al día
<b>Bajo</b>	1	En servicio cada n días

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 37).

En la última tabla, se observa la clasificación según el grado de complejidad de cada equipo, esto para definir la dificultad del mantenimiento.

**Tabla 10***Grado de complejidad tecnológica del equipo*

<b>Nivel</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Alto</b>	4	Sistema electrónicos o computarizados de control
<b>Medio</b>	2	Sistema mecánico de precisión y varios motores
<b>Bajo</b>	1	Mecánicamente simples sin ningún sistema de control

Nota: Adaptado de (Torres, 2000, p. 37).

### 3.3.4. *Cálculo de la criticidad*

Siguiendo la metodología del autor Bernardo Torres, se prosiguió con el cálculo de la criticidad, este paso es fundamental ya que, se define como la incidencia que tiene cada equipo o maquina dentro de la operación de la PTAP (Mora Rincón & Tarazona Peñaranda, 2011).

Para llevarlo a cabo primero se planteó una matriz de criticidad para cada equipo donde se evaluó cada aspecto mencionado en el análisis de criticidad, como se muestra a continuación:

**Tabla 11**

*Cálculo criticidad bomba dosificadora de polímero.*

<b>EQUIPO M-EM-BO</b>	
<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Tasa utilización del equipo</b>	1
<b>Existencia equipo auxiliar</b>	1
<b>Repercusión cadena productiva</b>	3
<b>Pérdidas en producción</b>	1
<b>Repercusión en seguridad y medio ambiente</b>	1
<b>Repercusión en calidad del producto</b>	5
<b>Tasa de marcha</b>	1
<b>Grado de complejidad</b>	2
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

En la tabla inmediatamente anterior, aplicada para el equipo Bomba dosificadora de polímero, se analizaron los 8 criterios, primero en tasa de utilización del equipo, se clasificó como 1 ya que su frecuencia de uso es menor al 50%, además como no se tiene un equipo auxiliar su clasificación también es 1, en dado caso que este falle, puede causar tanto repercusiones en cadena productiva como en la calidad del producto, para llegar a esta conclusión se consultó con los operadores y personas encargadas del área de mantenimiento del amb, identificando por ejemplo cuáles equipos ocasionarían paradas en el proceso principal, las pérdidas para este equipo serían relativas en producción, para esto ya que no se tiene un valor exacto para clasificar los equipos, se procedió con analizarlos desde sus otros criterios y la experiencia del personal encargado, continuando este bomba dosificadora no se usa a diario, por lo que su tasa de marcha es baja, y maneja un grado de complejidad medio ya que cuenta con un sistema mecánico de precisión.

Finalizada la valoración de cada equipo en la matriz presentada anteriormente, se procedió a calcular un total, el cual es la sumatoria de los valores dados para cada criterio evaluado, dando así, la criticidad del equipo, la cual se encuentra en el Apéndice C.

Siguiendo de esta forma el ejemplo anterior, el valor de criticidad para el equipo bomba dosificadora de polímero (M-EM-BO-30), es de 15.

### **3.3.5. Frecuencias de mantenimiento**

La frecuencia de mantenimiento está ligada a la criticidad de los equipos, está definida de esta forma (Torres, 2000, p. 37). :

- ✓ Índice > 27: Equipos críticos con mínimo tres intervenciones preventivas al año.

- ✓  $20 < \text{Índice} \leq 27$ : Equipos que no son críticos, pero que tienen una incidencia en el proceso con base en las condiciones de operación. Se realiza un mantenimiento preventivo semestral.
  
- ✓  $\text{Índice} \leq 20$ : Equipos que no tienen una incidencia directa sobre el proceso y a los cuales se les realiza un mantenimiento preventivo anual.

Continuando con el ejemplo llevado anteriormente sobre la báscula polímero (M-EM-BO-30), al tener un valor de criticidad de 15, significa que este equipo no tiene una incidencia directa sobre el proceso de potabilización y sus actividades de mantenimiento preventivo son de tipo anual.

### **3.4. Instrumento final**

Para el correcto desarrollo del plan de mantenimiento, se solicitó al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga fichas técnicas de los equipos activos actualmente, las cuales fueron 89 fichas ya existentes y 3 nuevas, así que estas fichas se tomaron como referencia para la generación de nuevas fichas.

A continuación, en la figura 6 se muestra el formato en el cual se presentará cada equipo, con el proceso que desarrolla, el subprograma el que pertenece, datos generales del equipo, además se aprecia su criticidad, el cual está desde un mínimo de 13 para los equipos menos críticos, llegando hasta 32 en los equipos con más criticidad, adicional está definida la frecuencia de mantenimiento,

la cual puede ser trimestral, cuatrimestral, semestral o anual, y por último en la parte inferior del formato se encuentra la actividad del mantenimiento a realizar junto con la imagen del equipo.

**Figura 6**

*Formato fichas técnicas*

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS PLANTA MORRORICO		
PROCESO		
SUBPROGRAMA		
DATOS DEL EQUIPO		
NOMBRE:	CÓDIGO:	CRITICIDAD:
MARCA:	MODELO:	No. SERIE:
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:		
DESCRIPCIÓN MANTENIMIENTO	IMAGEN DE EQUIPO	

**4. Desarrollo y discusión**

Como resultado final del plan de mantenimiento, se generaron fichas técnicas con su respectiva información para la aplicación del mantenimiento.

A continuación, en los numerales 4.1. se indica la cantidad de equipos proporcionados por el amb, su tipo (misional o apoyo), además las adiciones al plan de mantenimiento preventivo.

Para el numeral 4.2. se listan las actividades de mantenimiento en función de los subprogramas junto con la frecuencia de cada actividad.

La presente sección contiene una descripción generalizada de la muestra y la caracterización de sus viajes de acuerdo con la partición modal, el tiempo y costo promedio, la frecuencia y las rutas utilizadas por los encuestados. Asimismo, se da a conocer el cambio modal que se estima luego de la emergencia sanitaria por la COVID-19 y la percepción del uso de la bicicleta como modo principal de transporte. Finalmente se exponen algunas recomendaciones con base al análisis de los resultados.

#### **4.1. Equipos e infraestructura**

Se observó por medio de la lista de equipos proporcionada por el amb que se encontraba actualizada al momento de realizar las visitas, se encontraron 89 equipos activos, 74 pertenecientes al proceso principal y 15 equipos de apoyo. Adicional a estos se incluyó en el plan de mantenimiento componentes de infraestructura como lo son: filtros, sedimentadores y estructura de aireación.

#### **4.2. Actividades de mantenimiento**

Al tener ya establecidos los procesos que cumplen los equipos, se organizaron en subprogramas, ya que sus actividades de mantenimiento son similares y de esta forma se pueden listar más organizadamente sus actividades de mantenimiento. Adicional para cada actividad específica se definió una periodicidad por medio de normas y sugerencias de proveedores, las cuales están ubicadas en el Apéndice D.

Mediante el análisis de criticidad se logró determinar el índice de importancia para cada equipo de la planta de tratamiento de agua potable Morrórico.

Los equipos de mayor criticidad son: niveles, cloradores, bombas PAC (Policloruro de Aluminio) y tanque dosificación PAC., debido a que influyen totalmente en el proceso de potabilización. Además, se encontró que los equipos de menor criticidad son: compuertas, hidrolavadora, ducha lavaojos, entre otros, ya que contrario a los anteriores aparatos, estos no influyen significativamente.

La criticidad de cada equipo perteneciente a la planta de tratamiento se puede notar en su respectiva ficha técnica que se encuentra en el Apéndice B.

Las frecuencias de mantenimiento fueron definidas a partir del índice de criticidad, las cuales están distribuidas en: anuales para equipos no críticos, semestrales para equipos que no son críticos, pero tienen incidencia en el proceso de potabilización y en el caso de los equipos críticos se les asignó frecuencias de mantenimiento mensuales, bimensuales o trimestrales.

Lo anterior se puede observar en la ficha técnica de cada equipo, las cuales se encuentran en el Apéndice B.

Como resultado final, el cual involucra tanto actividades, criticidad y frecuencia de mantenimiento para cada equipo de la planta de tratamiento de agua potable Morrórico, se obtuvieron 92 fichas técnicas, es decir, en la presente investigación este fue el número total de

equipos analizados Teniendo en cuenta que los equipos fueron caracterizados según su proceso, las 92 fichas técnicas se dividen de la siguiente manera:

- ✓ Medición: 3 fichas
- ✓ Coagulación: 20 fichas
- ✓ Floculación: 3 fichas
- ✓ Sedimentación: 5 fichas.
- ✓ Filtración: 33 fichas.
- ✓ Desinfección: 6 fichas.

Las 22 fichas restantes corresponden a equipos de emergencia o equipos de apoyo que no se presentan en ninguna etapa misional.

Las frecuencias de mantenimiento para el subprograma de infraestructura son en su mayoría anuales o mayores, lo cual es muy similar a los resultados encontrados en el artículo de investigación Manual De Operación y Mantenimiento Planta de Tratamiento de Agua Potable San Antonio – Asociación Sucuneta (Jiménez Sabogal & López Nuñez, 2016).

Con respecto al mantenimiento de válvulas, motores eléctricos, y bombas, las actividades de mantenimiento concuerdan con el trabajo realizado en el Plan de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento Villasantana S.A. ESP (Benjumea Aguirre, 2009).

## 5. Conclusiones

La presente investigación permitió identificar los índices de criticidad de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable Morrórico y de esta manera definir frecuencias de mantenimiento, así como también actividades necesarias para mantener a estos en óptimas condiciones, lo que espera alargar así su vida útil, lo cual permitirá que el sistema en conjunto funcione de la mejor manera posible, con el fin de cumplir su principal objetivo, la potabilización.

Por medio de las visitas técnicas se pudo notar el estado de los equipos existentes en esta planta de tratamiento, en donde por resaltar está que los componentes pertenecientes al proceso de infraestructura son aquellos que se encuentran en un estado más deficiente, en comparación con los cloradores, estos últimos están en un estado óptimo.

En cuanto a las actividades de mantenimiento, estas fueron determinadas principalmente por los manuales de proveedores de los equipos, sin embargo, para aquellos de los cuales no se tuvo información sobre su proveedor, se plantearon las actividades gracias a la información brindada por personal de la planta, el cual está calificado para la realización de los mantenimientos, lo que permite afirmar y concluir que son acertadas para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

En relación con lo expuesto, la metodología por Bernardo Torres complementa lo que ha estado realizando el amb, definiendo más actividades de mantenimiento y proporcionando a cada una de ellas una frecuencia propia.

## **6. Recomendaciones**

Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo a los componentes tenidos en cuenta de infraestructura civil este año, ya que no han estado incluidos en ningún programa de mantenimiento, luego de ello se aconseja realizar su mantenimiento por lo menos cada 3 años, ya que no cuentan con una frecuencia definida.

Se resalta la necesidad de que la planta de tratamiento de agua potable de Morrórico mantenga vigentes planes de mantenimiento preventivo y sean llevados a cabo para el correcto desempeño de estas.

### Referencias Bibliográficas

- Acuatecnica S.A.S. (2016). Tipos de plantas de tratamiento de agua potable. Retrieved from <https://acuatecnica.com/tipos-plantas-tratamiento-agua-potable/>
- Aguasistec. (s.f.). Planta de tratamiento de agua potable – PTAP. Retrieved from <https://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>
- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. (2017). Plantas de Tratamiento. Retrieved from Bucaramanga, Colombia website: [http://www.amb.com.co:8081/wp\\_gestionagua/2017/11/02/plantas-de-tratamiento/](http://www.amb.com.co:8081/wp_gestionagua/2017/11/02/plantas-de-tratamiento/)
- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. (2018). *Informe de Gestión*. Retrieved from [http://www.amb.com.co/DocumentoInfo/INFORME\\_GESTION\\_2018.pdf](http://www.amb.com.co/DocumentoInfo/INFORME_GESTION_2018.pdf)
- Benjumea Aguirre, J. M. (2009). *PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLASANTANA S.A. ESP* (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA). Retrieved from <http://hdl.handle.net/11059/1811>
- Cansino Flores, E. A., & Lucero Diaz, D. W. (2015). *Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Y Seguridad Industrial Para La Fábrica Minerosa (Vol. 0)*.
- Castro Alvarez, E. M. (2006). *Proceso de Codificación de Equipos y Aplicación del Sistema SAP en la Gestión del Mantenimiento en Ampliación de la Planta Arauco Remanufactura Tres Pinos*. (UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE). Retrieved from [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37975140/bmfcic355p-with-cover-page.pdf?Expires=1621402555&Signature=aIugaqZMUABO~qme2dPalEZSHcidwasmNom3DTidnM94pWOG3uvxRZFNil6qzF~ZTmnu32207k45SJvVKPbz5J4AITFPuUzqO6drOhIJtFxRidfXaHOuxKGOLZH5JtitbrEvVYIuiC9ndnBUoBX9kG1kZUE82h2d~3ki86BrHduK8OcFzvlLXBAWEgqG2KqtOcirdUPNosiz2AM7Ort9eGdNvxyWBq15oICje0LUfbCImJq3je7XpbbEYNgZiWkJM7b2tVH5mg6nRz5fSDUNX-6Yd3AX67r1OY9igRuVFHGfXUYpTF3KHqWCXzQ~Tt50z~HAqMYpdti66PTJ~6UwsA\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37975140/bmfcic355p-with-cover-page.pdf?Expires=1621402555&Signature=aIugaqZMUABO~qme2dPalEZSHcidwasmNom3DTidnM94pWOG3uvxRZFNil6qzF~ZTmnu32207k45SJvVKPbz5J4AITFPuUzqO6drOhIJtFxRidfXaHOuxKGOLZH5JtitbrEvVYIuiC9ndnBUoBX9kG1kZUE82h2d~3ki86BrHduK8OcFzvlLXBAWEgqG2KqtOcirdUPNosiz2AM7Ort9eGdNvxyWBq15oICje0LUfbCImJq3je7XpbbEYNgZiWkJM7b2tVH5mg6nRz5fSDUNX-6Yd3AX67r1OY9igRuVFHGfXUYpTF3KHqWCXzQ~Tt50z~HAqMYpdti66PTJ~6UwsA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Díaz, C. A., & Benítez, M. R. (2012). Los análisis de criticidad en el MCC: Particularidades de diferentes modelos. *Mantenimiento En Latinoamérica*, 38(3), 24–32.
- Escobar Bautista, J. E., & Flores Armas, L. P. (2018). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la infraestructura civil del edificio de hospitalización y administración, áreas verdes y parqueaderos del hospital general Riobamba utilizando la norma UNE-EN 15331*. Retrieved from <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9866/1/25T00336.pdf>
- Evaluación Integral de Prestadores Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P – AMB S.A. E.S.P.* (2018). Retrieved from

[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C alcantarillado y aseo/Acueducto y Alcantarillado/2018/Dic/ei\\_bucaramanga.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado%20y%20aseo/Acueducto%20y%20Alcantarillado/2018/Dic/ei_bucaramanga.pdf)

Figuroa, O. (2015). *Definición de plan de mantenimiento óptimo para equipos críticos de una planta de laminación.*

Florez, J. (2014). *Automatización De La Etapa De Filtrado En Una Planta Potabilizadora De Agua.* Retrieved from [http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2921/MTpagoe003.pdf?sequence=1 &isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2921/MTpagoe003.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Frank, N. K., & McCallion, J. (1995). *Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones* (McGraw-Hil). Retrieved from [http://181.176.223.4/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=6879#.YKSBS3mg\\_IU](http://181.176.223.4/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=6879#.YKSBS3mg_IU)

Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial* (1st ed.). Retrieved from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOrFC3532MEC&oi=fnd&pg=PA17&dq=de +León,+F.+C.+G.+\(1998\).+Tecnología+del+mantenimiento+industrial.+Editum.&ots=6Ob WIJMgIK&sig=kKTPV\\_WZ0QePVRUezo39\\_meb3LE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOrFC3532MEC&oi=fnd&pg=PA17&dq=de+León,+F.+C.+G.+(1998).+Tecnología+del+mantenimiento+industrial.+Editum.&ots=6ObWIJMgIK&sig=kKTPV_WZ0QePVRUezo39_meb3LE#v=onepage&q&f=false)

Hourné-Calzada, M. B., Brito-Vallina, M. L., Castillo-serpa, A. M., Fraga-Guerra, E., & Díaz-Concepción, A. (2012). Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba Criticality analysis of Electric Groups Generators of the technology fuel oil in Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 55–61.

Jiménez Sabogal, B. F., & López Nuñez, A. C. (2016). “*Diagnostico de la planta de tratamiento de agua potable san Antonio - Asociacion Sucuneta*” (UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4195>

Marín Ortiz, L. M. (2020). Plan De Mejora De La Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De Agua Potable ( Ptap ) En Los Campamentos Tacuí Y Cuní Del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (Universidad de Antioquia). Retrieved from [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15857/6/MarinLaura\\_2020\\_MejoraPlantaTratamiento.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15857/6/MarinLaura_2020_MejoraPlantaTratamiento.pdf)

Martinez, L. (2007). *ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MANTENIMIENTO MANTENIMIENTO.* Retrieved from [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38982778/ORGANIZACION\\_PLAN\\_DE\\_MANTENIMIENTO.pdf?1443820015=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DORGANIZACION\\_PLAN\\_DE\\_MANTENIMIENTO .pdf&Expires=1621401089&Signature=N-2oRyRNOEM4QB1grEakGBEP0YkI1LD05UVqNRJFPLxEUPsmV7H2kTXX3Xi3TFd00cOA82VE7hjTnhZjP-6Hw4qBKEeu1sqMiyt3oOqI1GGcmaFAS0xvFcYcNdSfpjtmh00TMmBwD1mMd9VsDWI](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38982778/ORGANIZACION_PLAN_DE_MANTENIMIENTO.pdf?1443820015=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DORGANIZACION_PLAN_DE_MANTENIMIENTO.pdf&Expires=1621401089&Signature=N-2oRyRNOEM4QB1grEakGBEP0YkI1LD05UVqNRJFPLxEUPsmV7H2kTXX3Xi3TFd00cOA82VE7hjTnhZjP-6Hw4qBKEeu1sqMiyt3oOqI1GGcmaFAS0xvFcYcNdSfpjtmh00TMmBwD1mMd9VsDWI)

gw-keXtLWq~jo3hF2rOclojC2rAgqIT-tVOnx5Dvugsd-  
 2kUBo2GEQ09P7~5RkoG174Hj8WymcTmpI92a~PQ9c5z-FwLeD9oMAIRMddJ6E-  
 PhVLXbCO~JAcwBEubLOl6lWu2TIxgUgq9ocIMxOnDowmpvRcNvPZAL-P2BtpTcl-  
 OtMIjk3~AmVwuQvQX6kt-qjw\_\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Mora Rincón, D., & Tarazona Peñaranda, E. A. (2011). *PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL HOTEL DANN*. (UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER). Retrieved from <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/140832.pdf>

Mora, S. A., & Rodríguez, D. H. (2016). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO* (UNIVERSIDAD ECCI). Retrieved from [https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/276/Trabajo de grado.pdf?sequence=1](https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/276/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1)

Moreno, C. M. (2016). *Propuesta para la implementación de la herramienta poka yoke en la elaboración de las fichas técnicas en el área de oficina técnica de la empresa c. i. dugotex s.a.* (UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS). Retrieved from <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4947/jimeneztoro?sequence=1>

Pacheco Valencia, M. E. (2005). *Plan De Mantenimiento Preventivo Para Los Plan De Mantenimiento Preventivo Para Los Procesos De Trituración Y Molienda De La Planta De Beneficio Maria Dama Frontino Gold Mines (Vol. 1)*. Retrieved from [http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/500/1/digital\\_17627.pdf%5Cn](http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/500/1/digital_17627.pdf%5Cn) [https://www.google.com.co/\\_/chrome/newtab?espv=2&ie=UTF-8](https://www.google.com.co/_/chrome/newtab?espv=2&ie=UTF-8)

Peña Sánchez, A. C. (2017). *Diseño Del Plan De Mantenimiento Preventivo Y Correctivo Para La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Muzo (Boyacá)* (UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA; Vol. 1). Retrieved from <http://e-journal.usd.ac.id/index.php/LLT%0Ahttp://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpdpb/article/viewFile/11345/10753%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.758%0Awww.iosrjournals.org>

Pico, E. (2016). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la inyectora de poliuretano de la empresa CALZADO MARCIA BUFFALO INDUSTRIAL*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

Ramirez, J. C., & Moreno, H. F. (2017). *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las Normas SAE JA1011 y SAE JA1012*.

Torres, B. (2000). *Análisis y Desarrollo de la Aplicación Informática para el Mantenimiento Preventivo*. Valencia.

URBANO, S. D. A. (2000). *Reglamento Técnico del sector de Agua potable y saneamiento básico RAS*. Colombia.

- Vargas López, K. A., & Verjan Pérez, N. F. (2016). *PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA MÓVIL DE TRITURACIÓN DE PIEDRA DE LA EMPRESA MINERA AGREGADOS Y MEZCLAS S.A.S. UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TOCANCIPA CUNDINAMARCA* (UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS). Retrieved from <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7160/NestorFabianVerjanPerez2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villada Duque, F. (2013, October). *El mantenimiento como estrategia competitiva*. 13. Retrieved from <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325795>
- Villanueva, E. D., Pérez-Tagle, J. F. D., & de León, C. L. (1989). *La productividad en el mantenimiento industrial*. Retrieved from [https://www.academia.edu/download/58658298/03\\_ED.\\_DOUCEN\\_VILLANUEVA\\_ENRIQUE.\\_LA\\_PRODUCCTIVIDAD\\_EN\\_EL\\_MANTENIMIENTO\\_INDUSTRIAL.pdf](https://www.academia.edu/download/58658298/03_ED._DOUCEN_VILLANUEVA_ENRIQUE._LA_PRODUCCTIVIDAD_EN_EL_MANTENIMIENTO_INDUSTRIAL.pdf)