

PROPUESTA DE RESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE UN EQUIPO CRÍTICO DEL SISTEMA AEROBIO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA DE
BUCARAMANGA BAVARIA & CIA S.C.A.

CARLOS ALFREDO LOZANO HERRERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

PROPUESTA DE RESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE UN EQUIPO CRÍTICO DEL SISTEMA AEROBIO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA DE
BUCARAMANGA BAVARIA & CIA S.C.A.

CARLOS ALFREDO LOZANO HERRERA

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista
en Gerencia de mantenimiento

Director:

GERMAN ALFONSO RANGEL CABALLERO
Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la oportunidad de alcanzar este triunfo...

A mi férreo padre Gustavo Lozano y mi asidua hermana Carolina Lozano por darme un motivo más por el cual seguir adelante; A mi madre que me acompaña siempre, gracias.

Agradezco a la Cervecería de Bucaramanga por permitirme desarrollar este trabajo y a todas las personas que tuve la oportunidad de conocer en este camino.

Carlos Alfredo Lozano Herrera

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	14
1.1 MARCO CONTEXTUAL.....	14
1.1.1 Bavaria & CIA S.C.A.	14
1.1.2 Cervecería de Bucaramanga.	15
1.1.3 Departamento de ingeniería y servicios industriales.....	17
1.1.4 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	18
1.1.4.1 Caracterización de las descargas a la PTAR.....	23
1.1.4.2 Abastecimiento de agua.....	24
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos	26
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	26
2. MARCO TEÓRICO	27
2.1 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PMO	28
2.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN.....	31
2.2.1 Indicadores.	35
2.2.2 Disponibilidad.....	36
2.2.3 Mantenibilidad.....	36
2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	38
2.3.1 Inspecciones visuales.....	38
2.3.2 Mantenimiento preventivo programado.....	38
2.3.3 Mantenimiento correctivo.....	38
2.4 MATRIZ DE CRITICIDAD DE EQUIPOS, PLANTA AEROBIA	39

3. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	41
3.1 SELECCIÓN DE EQUIPO CRITICO A ESTUDIAR	41
3.1.1 Equipo DAF.....	41
3.1.2 Discfilter.	42
3.1.3 Soplador a reactor MBBR.	44
3.2 SOPLADOR AERZEN GM25S	45
3.2.1 Estrategia de mantenimiento actual y panorama financiero.....	46
3.2.2 Análisis de falla y repuestos críticos.	48
3.2.3 Propuesta estrategia de mantenimiento.....	53
4. CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Tabla de ponderación de riesgo para activos	40
Tabla 2. Tabla de ponderación de riesgo para clarificador DAF	42
Tabla 3. Tabla de ponderación de riesgo para Discfilter	43
Tabla 4. Tabla de ponderación de riesgo para Soplador Aerzen	45
Tabla 5Tareas mantenimiento actuales a soplador.	47
Tabla 6. Análisis modos de falla	49
Tabla 7. Listado de repuestos asociados a soplante GM25S	50
Tabla 8. Tabla evaluación de criticidad materiales repuesto.....	51
Tabla 9. Ponderación material 1.	52
Tabla 10. Ponderación material 2.	52
Tabla 11. Ponderación material 3.	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cervecería de Bucaramanga	16
Figura 2. Organigrama departamento ingeniería y servicios 2019, Cervecería de Bucaramanga.....	17
Figura 3. Organigrama departamento ingeniería y servicios 2017, Cervecería de Bucaramanga.....	18
Figura 4. Layout plantas de tratamiento de aguas , Cervecería de Bucaramanga	19
Figura 5. Layout fase anaerobia planta de tratamiento de agua residual, Cervecería de Bucaramanga	20
Figura 6. Layout fase aerobia planta de tratamiento de agua residual, Cervecería de Bucaramanga.....	21
Figura 7. Ciclo de planificación, programación y gestión de órdenes de trabajo. ..	33
Figura 8. Clarificador tipo DAF instalado Cervecería de Bucaramanga	42
Figura 9. Discfilter instalado Cervecería de Bucaramanga	43
Figura 10. Discfilter instalado Cervecería de Bucaramanga	44
Figura 11. Soplador Aerzen GM25S instalado en Cervecería de Bucaramanga ...	46
Figura 12. Nivel aceite correcto, soplador Aerzen.	48
Figura 13. Programa de mantenimiento sugerido Aerzen.....	55

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE RESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN EQUIPO CRÍTICO DEL SISTEMA AEROBIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA BAVARIA & CIA S.C.A*.

AUTOR: CARLOS ALFREDO LOZANO HERRERA**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CRITICIDAD DE ACTIVOS, GESTIÓN DE REPUESTOS, PMO, PLANEACIÓN, TRATAMIENTO AGUA RESIDUALES.

CONTENIDO:

El presente trabajo pretende generar una propuesta integral de la estrategia de mantenimiento preventivo de un equipo crítico del sistema aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería de Bucaramanga. Permitiendo de esta forma la alineación de la situación actual de la compañía en términos de recurso humano, y financiero a través de la optimización del mantenimiento planeado. Sirviendo este ejercicio de base para garantizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los activos del departamento de ingeniería y servicios industriales de Bavaria & CIA S.C.A en su sede de Bucaramanga.

El desarrollo del trabajo se fundamenta en la información técnica de los equipos, manuales, y procedimientos, así como en el conocimiento y experiencia del personal que opera y mantiene a estos equipos críticos, que a su vez son fundamentales para el cumplimiento del marco legal asociado. A través de la optimización del mantenimiento planeado PMO se analiza lo que se está realizando actualmente, racionaliza, y adiciona aquello que está faltando y debería realizarse.

El resultado debe estar acompañado de un compromiso en la ejecución de la propuesta planteada, actualización en el sistema de información y una trazabilidad constante por parte del personal de mantenimiento, buscando oportunidades de mejora continua en la estrategia de mantenimiento del departamento y desplegando esta actividad con los demás sistemas dentro del departamento.

* Monografía de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: German Alfonso Rangel, especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos

ABSTRACT

TITLE: RESTRUCTURING PROPOSAL OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN OF A CRITICAL EQUIPMENT OF THE AEROBIO SYSTEM OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT OF CERVECERÍA DE BUCARAMANGA BAVARIA & CIA S.C.A.*

AUTHOR: CARLOS ALFREDO LOZANO HERRERA**

KEYWORDS: PREVENTIVE MAINTENANCE, CRITICITY OF ASSETS, SPARE PARTS MANAGEMENT, PMO, PLANNING, WASTEWATER TREATMENT.

CONTENT:

The present work aims to generate a comprehensive proposal of the preventive maintenance strategy of a critical asset of the aerobic system of the wastewater treatment plant of the Bucaramanga brewery. Allowing in this way the alignment of the current situation of the company in terms of human resources, and financial through the optimization of planned maintenance. Serving this basic exercise to guarantee the reliability, maintainability and availability of the assets of the engineering and industrial services department of Bavaria & CIA S.C.A at its headquarters in Bucaramanga.

The development of this work is based on the technical information of the equipment, manuals, and procedures, as well as on the knowledge and experience of the personnel that operates and maintains these critical equipment, which in addition are essential for compliance with the associated legal framework. Through the optimization of planned maintenance, it analyzes what is currently being done, rationalizes, and adds what is missing and should be done.

The result must be accompanied by a commitment in the execution of the proposed proposal, updating in the information system and constant traceability by the maintenance staff, seeking opportunities for continuous improvement in the department's maintenance strategy and deploying this activity with the other systems within the department.

* Monograph

** Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director: German Alfonso Rangel, Evaluation and Project Management specialist.

INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de los equipos críticos del departamento de ingeniería y servicios de la cervecería de Bucaramanga se ha visto afectada en los últimos años, diversos lineamientos desde función central en el tema presupuestal y organizacional en la estructura del área, en conjunto con la adición de gastos externos derivados de normativas en seguridad industrial en el presupuesto base cero para el mantenimiento del departamento, ha incidido en gran medida en la transición de la estrategia de mantenimiento preventiva a una correctiva en la práctica diaria, sin modificación en el sistema de gestión de la información.

Por otra parte, se suma la disminución del personal disponible para el mantenimiento y el incremento en la producción, lo que no ha permitido la definición de una estrategia adecuada que se adapte a la nueva situación del departamento.

La planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente al mismo departamento dentro de la empresa, adicionalmente trae consigo un requisito de cumplimiento legal, de acuerdo con la resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual establece parámetros y valores límites máximos permitidos en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, este cumplimiento es monitoreado por la autoridad ambiental local. Las fallas mecánicas y operacionales en los equipos del sistema aerobio pondrían en vilo la continuidad del negocio incrementando los parámetros de la carga y sólidos disueltos en el agua a verter nuevamente al río Suratá, fuente de aprovisionamiento de agua de la cervecería.

Esta monografía muestra el desarrollo de una propuesta para la restructuración de la estrategia de mantenimiento preventivo de un equipo crítico del sistema aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente al departamento de ingeniería y servicios de la cervecería de Bucaramanga mediante PMO, metodología basada en la optimización del mantenimiento planeado actual, en busca de garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 MARCO CONTEXTUAL

1.1.1 Bavaria & CIA S.C.A. Es una empresa colombiana de bebidas con sede en Bogotá, Colombia. Fue fundada a finales del siglo XIX por inmigrantes alemanes. Sus productos son elaborados en seis plantas cerveceras ubicadas en diferentes ciudades de Colombia : Tocancipá, Yumbo, Barranquilla, Medellín, Bucaramanga y Tibasosa. Pertenece a la multinacional AB Inbev. La historia de la empresa se puede resumir de la siguiente forma: los hermanos Leo Siegfried y Emil Kopp Koppel, provenientes de Alemania, llegaron en 1876 a Santander, Colombia. Tres años después, se asociaron con los hermanos Santiago y Carlos Arturo Castello y conformaron en Bogotá la sociedad Kopp y Castello, quienes en 1889 adquirieron un lote para la construcción de una fábrica de cerveza. Esta transacción es considerada como el hecho fundacional de Bavaria. En 1890 se disolvió Kopp y Castello, nació Bavaria Kopp's Deutsche Bierbrauerei y se inauguró la planta de San Diego, en el centro de Bogotá.

En el año 1913 se inauguró la Cervecería de Barranquilla y nació la marca más valiosa del portafolio actual: Águila ; En 1930, al unirse la Handel y la Cervecería Continental de Medellín, se crea el Consorcio de Cervecerías Bavaria, que incorporaría a la Colombiana de Cervezas de Manizales y su marca Póker, así como a otras plantas cerveceras en Santa Marta, Cali, Pereira y Honda.

Tras la construcción de la Planta de Duitama en 1943 y la compra de la Cervecería de Cúcuta en 1944, se inicia la edificación de nuevas fábricas en Bucaramanga, Girardot, Buga, Villavicencio, Neiva, Ibagué y Armenia que entrarían en operación entre 1948 y principios de los años 50. En 1967 a cambio

de acciones propias, Julio Mario Santodomingo se hizo dueño de la Cervecería de Barranquilla y Bolívar, creando con esta operación la Cervecería Águila S.A. Este hecho fue fundamental para la consolidación de Bavaria.

El 31 de enero de 1973 se inaugura en Bogotá una nueva planta, un conjunto denominado Complejo Industrial de Techo y se cierra la antigua fábrica de la calle 28 en el sector de San Diego, donde, años después, se levantaría el conjunto Parque Central Bavaria.

En el 2001 se adquiere la Cervecería Nacional de Panamá. Al siguiente año inician las operaciones en Perú con UCP Backus & Johnston, y en el 2004 finaliza el proceso de adquisición de Cervecería Leona que inició en el 2000.

El 18 de julio de 2005 se firmó el acuerdo de fusión entre el Grupo Empresarial Bavaria y SABMiller PLC, segunda productora de cervezas y bebidas del mundo.

Desde octubre de 2016, Bavaria es parte activa de la familia ABInBev, organización con operaciones en casi todos los mercados de cerveza y un portafolio ampliado que incluye marcas globales, de múltiples países y locales para ofrecer más opciones a los consumidores.

1.1.2 Cervecería de Bucaramanga. La cervecería se inaugura en diciembre de 1948 en un lote ubicado en el kilómetro 4 vía Café Madrid, en el norte de la ciudad, bajo un proyecto de expansión en el país del portafolio Bavaria, hoy en día todavía opera en el mismo sitio. En el año 2005, se realizó una repotenciación de las instalaciones y sus activos, la inversión ascendió a los 23 millones de dólares. Las marcas que se elaboran y envasan en la cervecería son: Club Colombia Dorada, Águila, Águila Light, Pilsen, Póker, Costeñita, Bahía Light y Pony Malta . La capacidad instalada total de la cervecería es de aproximadamente 2.2 millones de hectolitros envasados al año. En los años 2017,2018 se repotenció una de las

dos líneas de envasado, permitiendo aumentar el volumen de hectolitros (hl) programados con un nuevo formato de botellas retornables 750 cc.

Figura 1. Cervecería de Bucaramanga



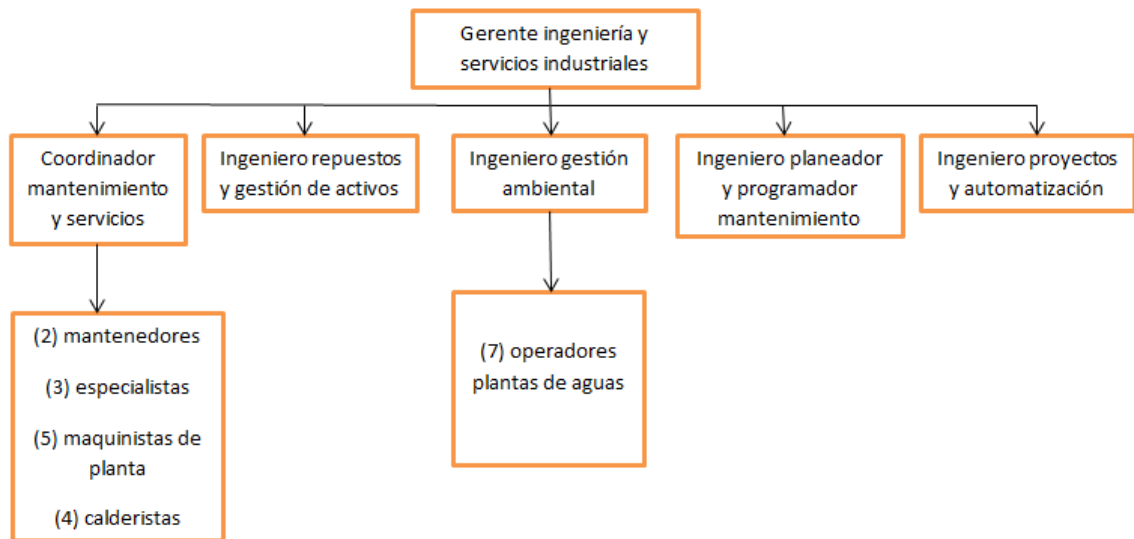
Fuente: BAVARIA & CIA S.C.A , Cervecería de Bucaramanga [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros/historia-bavaria>

La operación de la cervecería se divide en los siguientes departamentos: elaboración, ingeniería y servicios industriales, envasado, calidad, y logística. Compras por su parte, se divide en regionales a lo largo del país. Cada departamento cuenta con un gerente, personal administrativo y operativo que cumple su rol dentro de la organización y desde su rol permite el cumplimiento de los indicadores de desempeño y metas establecidas para las operaciones en Colombia, y la zona (MAZ, *middle America zone*) que cubre más de 30 operaciones en norte, centro y sur América de la familia AB Inbev.

1.1.3 Departamento de ingeniería y servicios industriales. El departamento de ingeniería y servicios de la cervecera de Bucaramanga se encarga de suministrar los servicios industriales a las áreas clientes internas (elaboración, envase, logística, calidad): aire comprimido, vapor, energía eléctrica, refrigeración, dióxido de carbono CO₂ , agua potable y tratamiento de aguas residuales.

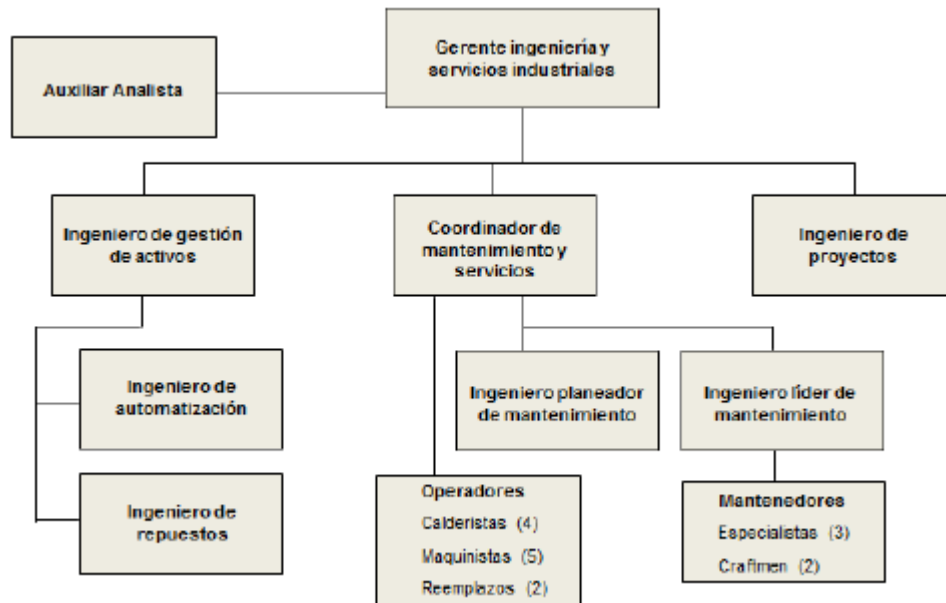
De igual forma, este departamento es el garante de la ejecución y cumplimiento de los estándares de mantenimiento, y política de gestión de activos desplegados por ABInBev para las operaciones, su organigrama luego de la fusión con esta multinacional quedó de la siguiente forma, un gerente, 5 profesionales y 24 colaboradores en operación y mantenimiento. El siguiente organigrama lo expone de mejor forma:

Figura 2. Organigrama departamento ingeniería y servicios 2019, Cervecería de Bucaramanga



Para realizar la comparación en cuanto a la reducción de recurso humano en comparación al año 2017 donde se realizaron ciertas validaciones a los planes de mantenimiento, se muestra el organigrama del año 2017.

Figura 3. Organigrama departamento ingeniería y servicios 2017, Cervecería de Bucaramanga



Fuente: LATORRE, Andrés. VILLEGAS, Ezequiel. “Metodología para planeación, ejecución y cierre de mantenimientos mayores en equipos del área de ingeniería y servicios de la cervecera Bavaria Bucaramanga”

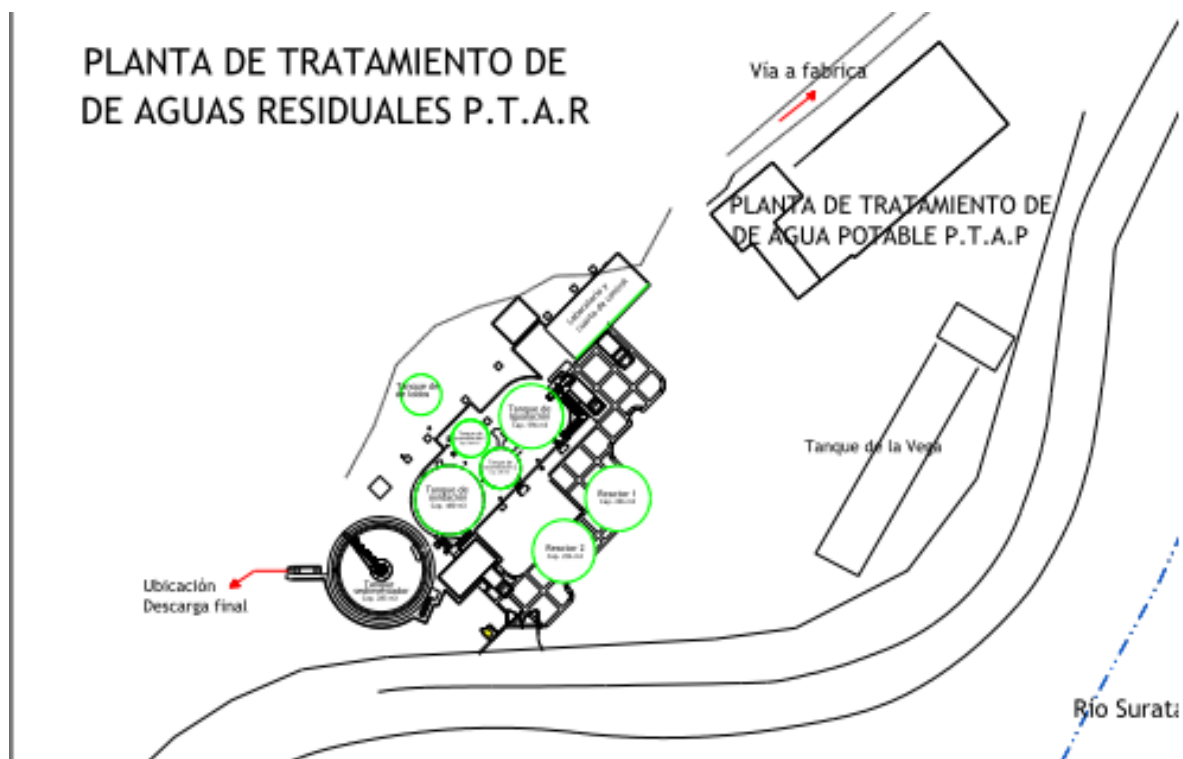
Se observa que el personal administrativo pasó de 8 profesionales a 5, y mientras el personal de mantenimiento se mantuvo aún cuando la producción se vio incrementada desde la modernización de la línea de envase 2, con nuevo formato de botellas 750 CC a finales 2017.

1.1.4 Planta de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales consiste en un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos, que se consideran tratamientos primarios y secundarios principalmente, cuyo resultado es la producción de residuos o subproductos llamados lodos, los cuales se

someten a procesos de estabilización para reducir la carga contaminante, y al final este producto es denominado “biosólido”.¹

La planta de tratamiento de agua residual se encuentra cerca de la planta de tratamiento de agua potable, y esta se abastece del río Suratá. La siguiente figura muestra un layout de la zona.

Figura 4. Layout plantas de tratamiento de aguas , Cervecería de Bucaramanga

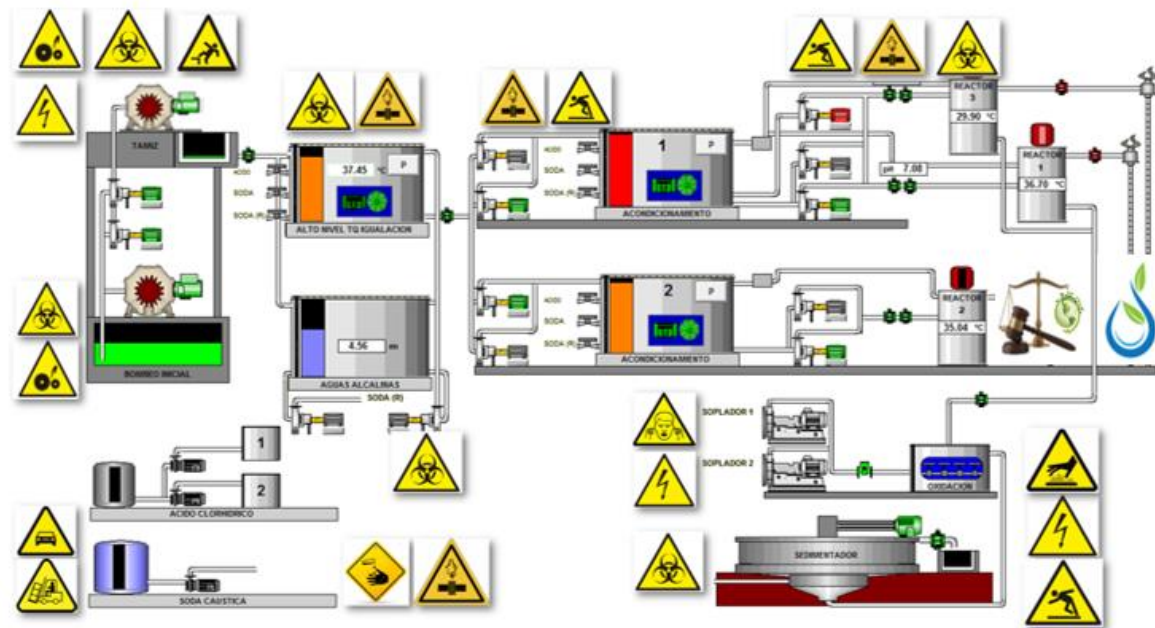


Fuente: BAVARIA & CIA S.C.A , Cervecería de Bucaramanga [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros/historia-bavaria>

¹ GARCIA MORA; Leiny , SIAMA LTDA, Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual generada en la planta de tratamiento de Bavaria S.A, Bucaramanga, 2017.

Todo el proceso de recepción del agua industrial a tratar, empieza el tanque de bombe inicial , para luego transportarse a través de tuberías al tanque de igualación donde empieza el tratamiento por las diferentes fases del proceso anaerobio, para luego pasar por la fase aerobia del tratamiento . Las siguientes figuras detallan el proceso de mejor forma junto con los riesgos asociados en cada fase.

Figura 5. Layout fase anaerobia planta de tratamiento de agua residual, Cervecería de Bucaramanga

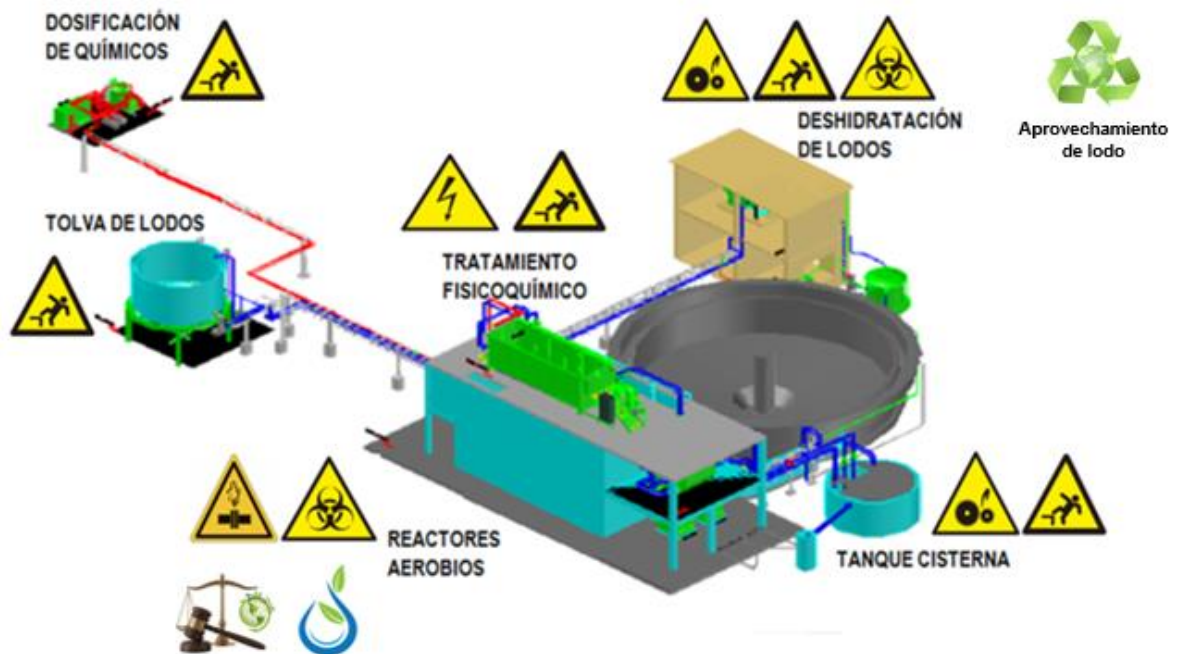


Fuente: BAVARIA & CIA S.C.A , Cervecería de Bucaramanga [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros/historia-bavaria>

La fase aerobia con una inversión de casi 5 millones de dolares, fue instalada en el 2014 debido a la nuevos lineamientos legales consignados en la resolución 631 de 2015, diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible de la república de Colombia, que entró en vigencia desde el 10 de enero de 2016 y por la cual se establecen los

parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Figura 6. Layout fase aerobia planta de tratamiento de agua residual, Cervecería de Bucaramanga



Fuente: BAVARIA & CIA S.C.A , Cervecería de Bucaramanga [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros/historia-bavaria>

En orden de comprender las características del agua que es vertida en la planta y los parámetros a monitorear se realiza una breve explicación del proceso productivo de la cerveza por áreas ² . El proceso de fabricación de la cerveza consta de las siguientes etapas:

² VALDERRAMA, María del Pilar. Optimización del plan de mantenimiento (PMO). OMCS international 2010

- **Elaboración del mosto:** Las características principales que determinan la identidad de cada marca que ofrece la empresa, se definen en la sala de cocimiento dependiendo de las materias primas que se utilicen y del proceso aplicado. Inicialmente se lleva a cabo la molienda de la malta de cebada, para liberar el almidón al interior del grano. El almidón aportado por la malta es transformado en azúcar fermentable gracias a varios cambios de temperatura. Así mismo, el mosto dulce que contiene azúcar fermentable, proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales es separado de la cáscara (de malta). El mosto es hervido, y durante el proceso el lúpulo es añadido para darle el sabor amargo y el aroma.

- **Fermentación y Maduración:** En la fermentación del mosto, la levadura transforma los azúcares del mosto en alcohol y gas carbónico. Al final del proceso se obtiene lo que se conoce como la “cerveza verde”, cuyo nombre se debe a que aún no ha alcanzado su punto ideal de maduración para el consumo; para poder lograr lo anterior, se requiere mantener la cerveza en tanques con temperaturas bajo cero grados. Por efecto del tiempo y del frío, el sabor y el aroma se refinan y se obtiene un producto más estable.

- **Filtración:** Es necesario estabilizar y otorgar a la cerveza esa apariencia limpia y clara. Es así como, a través del proceso de filtración, se separan las levaduras y otros restos sólidos; donde además se ajustan las cantidades de gas carbónico (CO₂). Finalmente aparece la cerveza brillante que se comercializa.

- **Envasado:** En La Cervecería de Bucaramanga, la cerveza es envasada en botellas de vidrio. Al ser un producto natural, a la cerveza no se le adicionan preservantes y para garantizar su estabilidad microbiológica se pasteuriza. Finalmente, los envases se rotulan según la marca.

1.1.4.1 Caracterización de las descargas a la PTAR. Los procesos que tienen vertimientos líquidos en la cervecería de Bucaramanga corresponden a lavados, tal como se describe a continuación :

Área de elaboración (Cocinas, Fermentación, maduración y contrapresión): En el área de cocinas se realiza un CIP con soda cáustica por todos los equipos: Olla de crudos, mezclas, filtración, tanque auxiliar, olla de cocción, tanque de sedimentación y enfriador de mosto. La soda es de una concentración del 2.5% y una temperatura de 70°C. Luego se enjuaga y se pasa solución al 1% de ácido nítrico.

Durante la operación regular de las cocinas, luego de cada cochada se hace un enjuague con agua a la olla de filtración y se realiza un CIP alcalino al enfriador de mosto cada dos cochadas. Los enjuagues son igualmente descargados a la PTAR. Las soluciones del CIP son recuperables, pero los enjuagues de las diferentes unidades se descargan a la PTAR. El aseo a cada tanque de fermentación, maduración y tanque de contrapresión se realiza en el momento que se desocupa, con protocolo CIP, soda y desinfectante. Los enjuagues se descargan a la PTAR.

Las frecuencias de los aseos lo determinan el *master CIP plan*, un programa que lidera la profesional de microbiología del área junto con el cervecero y el ingeniero de calidad del área.

En fermentación y maduración se realiza CIP a las tuberías de cerveza y mosto con soda al 2.5% y desinfectante al 1%. Igualmente, cuando se termina el programa de envase se realiza CIP a las líneas de cerveza hacia el envase y al filtro.

Pisos y superficies: Se realizan con detergentes comerciales.

Área de envasado: el lavado de las botellas se realiza mediante la acción de la soda cáustica en concentraciones del 2 al 2.5% y temperaturas de 70 a 80°C. La máquina lavadora de botellas consta de 7 tanques, con diferentes concentraciones de soda, por los que circulan las botellas con el efecto del desprendimiento de la etiqueta y asepsia del envase.

A la entrada de la máquina se tiene un *pre-rinse* y a la salida un enjuague final que garantiza el buen lavado de las botellas.

El agua que llega a la PTAR durante la operación normal corresponde al *pre-rinse* de la lavadora. Durante el aseo semanal se descargan los tanques de la lavadora, recuperando la soda de los tanques 2, 3 y 4; de la misma forma se descargan a la PTAR los tanques de las pasteurizadoras.

En el envase se consume un promedio de 32000 kg de soda cáustica al mes.

1.1.4.2 Abastecimiento de agua. La fuente de abastecimiento de agua es el Rio Suratá, se cuenta con una concesión de agua de 75 Lt/s, otorgada por la autoridad ambiental, corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga, CDMB, autorizada por medio del permiso de captación resolución 431/2010.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La confiabilidad de los equipos críticos del departamento de ingeniería y servicios de la cervecería de Bucaramanga se ha visto afectada en los últimos años, diversos lineamientos desde función central en el tema presupuestal y organizacional en la estructura del área, en conjunto con la adición de gastos externos derivados de normativas en seguridad industrial en el presupuesto base cero para el mantenimiento del departamento, ha incidido en gran medida en la

transición de la estrategia de mantenimiento preventiva a una correctiva en la práctica diaria, sin modificación en el sistema de gestión de la información.

Por otra parte, se suma la disminución del personal disponible para el mantenimiento y el incremento en la producción, lo que no ha permitido la definición de una estrategia adecuada que se adapte a la nueva situación del departamento.

La planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente al mismo departamento dentro de la empresa, adicionalmente trae consigo un requisito de cumplimiento legal, de acuerdo con la resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual establece parámetros y valores límites máximos permitidos en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, este cumplimiento es monitoreado por la autoridad ambiental local. Las fallas mecánicas y operacionales en los equipos del sistema aerobio pondrían en vilo la continuidad del negocio incrementando los parámetros de la carga y sólidos disueltos en el agua a verter nuevamente al río Suratá, fuente de aprovisionamiento de agua de la cervecería.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Desarrollar una propuesta para la restructuración de la estrategia de mantenimiento preventivo de un equipo crítico del sistema aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente al departamento de ingeniería y servicios de la cervecería de Bucaramanga mediante PMO.

1.3.2 Objetivos específicos

- Presentar la situación actual de la estrategia de mantenimiento preventivo del departamento de ingeniería incluyendo factor humano y económico.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos principales del sistema aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería de Bucaramanga.
- Validar los repuestos críticos del equipo crítico seleccionado para estudio, identificado luego del análisis de criticidad.
- Proponer una solución para la reestructuración de la estrategia de mantenimiento de acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de criticidad, situación financiera y recurso humano actual de los activos, a través de PMO.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los últimos cambios en la estructura organizacional, así como las reducciones en capital humano y presupuestal, han modificado la forma en que la estrategia de mantenimiento preventivo se había establecido años atrás, pero en el sistema de gestión de la información las modificaciones no han sido suficientes.

El presente trabajo pretende generar una propuesta integral de la estrategia de mantenimiento preventivo de los equipos críticos del sistema aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería de Bucaramanga. Permitiendo de esta forma la alineación de la situación actual de la compañía en términos de recurso humano, y financiero a través de la optimización del mantenimiento planeado

2. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM es un marco estratégico que define aquellos requerimientos de mantenimiento de un activo, enfocándose más en la administración de consecuencias de las fallas que en los atributos físicos del activo. Su origen se remota en la aviación civil de los Estados Unidos, con los pioneros Nolan y Heap, años más tarde es aplicada al sector industrial por Moubray. Su aplicación parte de un tablero en blanco, con todos los interesados y conocedores del activo y dentro de sus ventajas se encuentran la disminución de tareas de un plan de mantenimiento, aumentando consigo rentabilidad.

La utilización de este método ha sido exitosa hasta cierto umbral. Su implementación consiste en un proceso lento e intensivo de recursos, el cual no todas las organizaciones pueden mantener. Es por esto, que la industria ha venido utilizando procedimientos sin partir desde cero, conocidos como métodos “PMO” optimización del mantenimiento preventivo.

El PMO analiza los que se está realizando actualmente, racionaliza, y adiciona aquello que está faltando y debería realizarse. Resultando ser un método rápido y veraz en la fase de análisis e implementación en la organización.³

³ Ibíd

2.1 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PMO

La filosofía del RCM está basada en la noción que el mantenimiento exitoso está más relacionado con administrar las consecuencias de las fallas que con los atributos físicos de los activos.

PMO en cambio es una estrategia, que revitaliza de forma rápida la motivación del personal que trabaja en el proceso del mantenimiento. Ya que racionaliza todo el mantenimiento preventivo, asegurando que existe valor agregado y que no hay duplicidad de tareas. Los pasos del PMO se describen a continuación:

- **Consolidación de tareas**

Se reúne en una lista o matriz todas las tareas formales e informales de mantenimiento ejecutadas en el activo estudiado, y se ordenan. Se recomienda descomponer las actividades de mantenimiento en tareas específicas si estas son compuestas, se deben listar el responsable y frecuencias.

Las fuentes de información pueden ser: sistemas de gestión de información de la organización, rutinas de operadores / mantenedores, lecciones de un punto o procedimientos de operación estándar, rutinas de lubricación, tareas realizadas frecuentemente que no están documentadas, y manuales del activo.

- **Análisis de modo de falla (AMF)**

Para cada tarea identificada, se determina el modo de falla que esta previene o afronta.

Su alcance no consiste a conformar una lista con todos los posibles modos de falla, ya que la mayoría estará ligado a un mantenimiento no programado, y el

objetivo es evaluar la prevención de fallas, rentables desde el punto de vista financiero.

- **Análisis y revisión del AMF**

Se listan las tareas que afronta un modo de falla para el activo sujeto de estudio, se adicionan además a la lista o matriz, las fallas dominantes que pueda haber que no fueron agregadas en los pasos anteriores.

Dentro de los objetivos de PMO se encuentra que no debe existir más de una acción prescrita para cada modo de falla que se pueda prevenir, y de este modo garantizar que esta acción sea efectiva. El fin es evitar diferentes técnicas de mantenimiento para un único modo de falla, por su naturaleza poco práctica y costosa.

- **Análisis funcional (no obligatorio)**

Se debe listar la función que se pierde si una falla ocurre inesperadamente, generando un vínculo entre las tareas de mantenimiento y las pérdidas de capacidad.

- **Evaluación de efectos**

Listar el tipo de falla (oculto o evidente) y la posible consecuencia de su ocurrencia. Para alcanzar este paso, se recomienda el uso de diagramas lógicos.

- **Determinación de la política de mantenimiento**

Esta etapa consiste en establecer el papel del mantenimiento en la prevención de cada falla, y diferentes acciones a considerar dado el caso no se encuentre una tarea preventiva para alguna de las fallas.

- **Consolidación y verificación**

Este paso consiste en la agrupación de los resultados en la etapa de análisis y validar la alineación de los mismo con los objetivos de la organización.

- **Aprobación e implementación**

Luego de la revisión del aprobador y responsable del departamento, se debe ejecutar de una forma eficaz y rápida las modificaciones validadas, considerando los recursos para el cumplimiento de estas. Convirtiendo así el tiempo invertido en las etapas anteriores, en beneficio para la organización.

- **Verificación y seguimiento**

El fin de esta fase es garantizar que el programa validad sea completado a tiempo, y recibir la retroalimentación del grupo de trabaja para la mejora continua y fortalecimiento de la estrategia de mantenimiento.

Para fines de este trabajo, se trabajará hasta el paso consolidación y verificación, garantizando la alineación con los objetivos de la organización. Y dejando la aprobación e implementación sugerida al equipo de ingeniería en cabeza del gerente de ingeniería.

2.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN

En Bavaria se cuenta con el sistema de información SAP PM , y el mantenimiento en su totalidad se maneja por este medio, con el sistema de ordenes de trabajo diarias para todo el personal de operación (mantenimiento autónomo) y de mantenimiento, es decir diariamente el personal debe tener cargado en el sistema los trabajos a realizar durante su turno(8 Hrs, 6.5 horas programadas personal mantenimiento, 3.5 horas programadas a personal operativo) estas ordenes deben ser notificadas con el trabajo realizado.

Cualquier hallazgo de mantenimiento/ anomalía, también se reporta en SAP a través de avisos de mantenimiento.

La planificación y la programación entonces, se consideran la clave para el desarrollo de un proceso de mantenimiento efectivo.

Un proceso de planificación detallado detalla las herramientas, los materiales y los recursos necesarios para llevar a cabo una orden de trabajo y la programación eficiente utiliza un proceso de priorización para seleccionar las órdenes de trabajo para la ejecución. Un proceso de planificación eficaz aumentará la eficiencia y la productividad del departamento de mantenimiento y mejorará la calidad de las órdenes de trabajo ejecutadas. Al seguir un conjunto de principios clave, las órdenes de trabajo realizadas serán necesarias y agregarán valor. ⁴

A través de un conjunto de principios rectores, la programación garantiza que la disponibilidad del técnico coincida con la de la planta que requiere trabajo y equipos / materiales para llevar a cabo la tarea. Esta sección detalla el proceso de

⁴ MULLEN, Rick y PARBHU, Sangeev. Proceso de planificación y programación de mantenimiento. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018

planificación y programación que debe ser instalado para un proceso de mantenimiento exitoso.

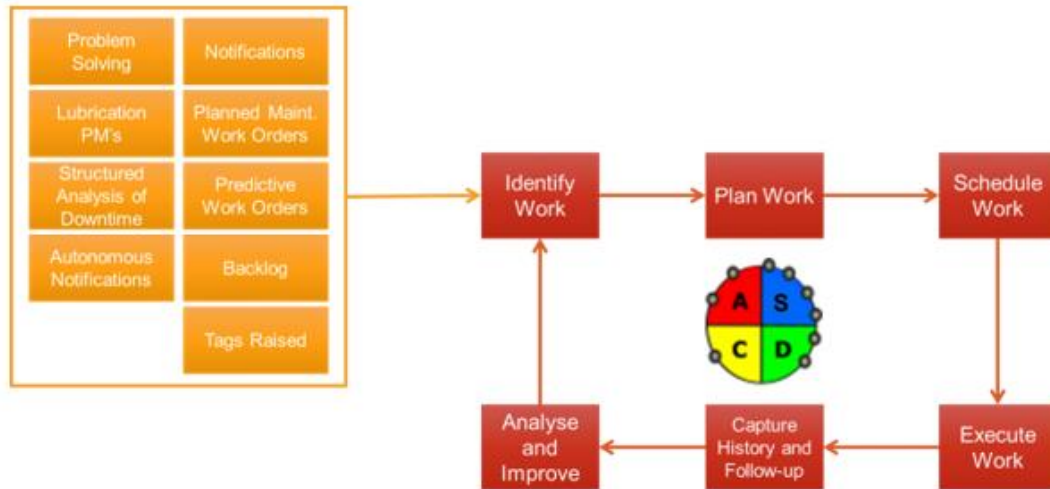
¿Por qué concentrarse en la planificación y la programación?

El mantenimiento es una combinación de varios bucles de refuerzo que controlan el comportamiento individual. La planificación y programación es específica y merece nuestro enfoque en esta sección porque es un proceso complejo y muy gratificante si está bien integrado y se implementa.

La planificación, la programación y la gestión de órdenes de trabajo están estrechamente relacionadas. La Figura 7 a continuación ilustra el ciclo de planificación, programación y gestión de órdenes de trabajo:

- El trabajo de mantenimiento se identifica de todas las fuentes, p. órdenes de trabajo correctivas, acciones de resolución de problemas, acciones de etiquetas, retraso
- Este trabajo está planeado
- El trabajo está programado en el programa a corto plazo
- El trabajo se ejecuta.

Figura 7. Ciclo de planificación, programación y gestión de órdenes de trabajo.



Fuente: MULLEN, Rick y PARBHU, Sangeev. Proceso de planificación y programación de mantenimiento. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018.

El mantenimiento exitoso depende de la planificación y programación adecuada de la orden de trabajo. La planificación de la orden de trabajo es el proceso de definir el alcance del trabajo que se va a realizar, y luego desglosar la orden de trabajo en sus requisitos básicos. El propósito de la planificación de la orden de trabajo es diseñar todo lo necesario para realizar el trabajo y prepararlo para la programación. Un plan completo debería dar como resultado que se realice una orden de trabajo de calidad con un mínimo de retraso o desperdicio. Una vez que se aprueba, la orden de trabajo se convierte en parte de la acumulación de órdenes de trabajo listas para la programación. La programación es el proceso de selección de órdenes de trabajo en función de sus prioridades, los equipos disponibles, la disponibilidad de piezas, el equipo auxiliar y la disponibilidad de los equipos que necesitan mantenimiento, asignándolos a un marco de tiempo de ejecución.

Los principales beneficios de una planificación y programación efectiva se enumeran a continuación:

Beneficios de la planificación:

- Aumento de la eficiencia y la productividad
- Mayor disponibilidad laboral
- Calidad mejorada en las órdenes de trabajo
- Asegura la coordinación apropiada de personas, herramientas, equipos, partes en una orden de trabajo
- Uso de comentarios sobre órdenes de trabajo completadas para mejorar la planificación y programación de órdenes de trabajo futuras
- Cada 10 minutos de alcance de planificación / orden de trabajo puede reducir el tiempo de orden de trabajo en 30 minutos ⁵
- El trabajo planificado adecuadamente reduce las demoras innecesarias durante las órdenes de trabajo.

Beneficios de la programación

- Maximiza el trabajo en equipo asignando trabajo por cada hora disponible
- Establece objetivos (semanal, mensual)
- Coordina la necesidad de técnicos especiales (por ejemplo, soldador certificado)
- Coordina el mantenimiento con la disponibilidad del equipo
- Asegura que se trabajen las órdenes de trabajo de mayor prioridad antes que las órdenes de trabajo de menor prioridad
- Mejor adquisición de partes

⁵ AVILA, Carlos y SAGASTEGUI, Milton. Proceso de criticidad de equipos. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018

- El trabajo programado correctamente reduce las demoras entre las órdenes de trabajo

2.2.1 Indicadores. Los Indicadores buscan cuantificar la calidad del servicio suministrado a las áreas clientes. Entre los Indicadores más comunes se encuentran ⁶:

- **Tasa de falla (λ):** es el número de fallas de un sistema o componente por unidad de tiempo de exposición. Generalmente se considera como unidad de tiempo 1 año.
- **Tiempo inactivo por mantenimiento (Mdt):** Maintenance down time, es el total de tiempo inactivo por mantenimiento programado para un periodo dado de tiempo. Incluye tiempo de logística, disponibilidad de equipo de trabajo y repuestos etc.
- **Tiempo medio inactivo (MDT):** Es el tiempo promedio de inactividad causada por mantenimiento programado y no programado, incluyendo cualquier tiempo de logística.
- **Tiempo medio entre fallas (MTBF):** Es el tiempo de exposición promedio entre fallas consecutivas de un componente.
- **Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR):** Es el tiempo medio para reparar o reemplazar un componente. Los tiempos de logística asociados a la reparación, como adquisición de partes, movilización de las cuadrillas no están incluidos dentro de este indicador. Puede ser estimado dividiendo la suma de

⁶ GOMEZ LUBO, Nestor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 KV /7,2 KV de la empresa carbones del Cerrejon. Bucaramanga, 2012. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica

los tiempos de reparación entre el número de reparaciones, por lo tanto, es prácticamente el promedio del tiempo de reparaciones. La unidad más común para medir este indicador es de horas.

- **Tiempo promedio para mantener (MTTM):** es el tiempo promedio que toma mantener un componente, incluyendo los tiempos de logística.

2.2.2 Disponibilidad. La disponibilidad es el objetivo principal del mantenimiento, y es definida como la capacidad de un elemento de desarrollar las funciones para las que es requerido en un determinado instante de tiempo o durante un determinado periodo de tiempo. En la práctica, en sistemas de operación continua, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que un elemento está en condiciones de operar.

$$D(t) = \frac{\sum \text{Tiempo disponible para producir}}{\sum \text{Tiempo disponible para producir} + \sum \text{Tiempo en mantenimiento}} \quad [1.1]$$

La Disponibilidad inherente (A_i) considera la tasa de falla de los componentes y el tiempo medio de reparación de los mismos.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [1.2]$$

2.2.3 Mantenibilidad. Es la probabilidad que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un tiempo dado⁷. La mantenibilidad se caracteriza por el tiempo promedio para reparar (MTTR) y depende de varios factores entre los que se encuentran:⁸

⁷ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.126.

⁸ Ibid. p.127.

- Características de diseño de los equipos como modularidad, estandarización y facilidad de acceso a partes propensas a falla.
- Organización y eficiencia de las dependencias de mantenimiento.
- Habilidades del personal que ejecuta el mantenimiento.
- Disponibilidad de personal para realizar el mantenimiento.
- Disponibilidad de materiales y repuestos.
- Calidad y disponibilidad de la información técnica necesaria.
- Procedimientos de diagnóstico.
- Espacio de trabajo.

2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La estrategia actual de mantenimiento de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería tiene tres componentes: Las inspecciones proveniente del mantenimiento autónomo de los operadores, las rutinas derivadas del mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

2.3.1 Inspecciones visuales. Es el método de control más básico, caracterizado por tener rutinas de alta frecuencia y corta duración, no se máquina detenida y no se utilizan herramientas sofisticadas durante su realización. Su objetivo primordial es verificar el estado de los equipos y encontrar posibles anomalías como fugas, sonidos extraños, presencia de cuerpos extraños, o fuentes de contaminación que puedan ser evidenciadas usando los sentidos de las personas que llevan a cabo esta tarea. Estas rutinas quedan registradas en el sistema de información, con el fin de utilizar estos datos en la detección de fallas.

2.3.2 Mantenimiento preventivo programado. El mantenimiento preventivo consiste en las inspecciones que se hacen a los diferentes sistemas que componen los equipos y fueron mapeados en la estructuración de los planes de mantenimiento, algunos de ellos a través de RCM. Para este tipo de rutinas la orden especifica si debe realizar con maquina detenida o en funcionamiento, duración, recursos, medidas de seguridad, calidad y medio ambiente y el número de personas a ejecutar la labor.

2.3.3 Mantenimiento correctivo. Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede realizar su función⁹. Es común que este tipo de mantenimiento se aplique a equipo con baja criticidad en el proceso, equipos que están en obsolescencia, equipos que tienen back-up y equipos que son fácilmente

⁹ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.54.

reemplazables. Sin embargo el mantenimiento correctivo en su forma más común, es decir no planeado, es el tipo de mantenimiento más costoso y que más problemas causa a cualquier operación debido a:¹⁰

- Requiere más personal.
- Conlleva a continuos paros que amenazan la producción.
- El tiempo indisponible de los equipos es mayor.
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables.
- Ocasiona malestar y conflictos.

2.4 MATRIZ DE CRITICIDAD DE EQUIPOS, PLANTA AEROBIA

Existen equipos cuya falla pueden causar un serio impacto en la capacidad de producción de una planta, igualmente hay otros cuya falla puede poner en peligro la Seguridad de las personas, el Medio Ambiente ó la Calidad de los productos mientras que existen otros equipos por la configuración de instalación y su baja utilización no representan una amenaza en la continuidad de las operaciones.

Por lo que se hace imprescindible para las empresa definir una política que califique y priorice los equipos instalados para asegurar que con la aplicación de los Procesos de Mantenimiento Industrial se obtenga la confiabilidad, disponibilidad, y calidad de los procesos. ABInBev desplegó un procedimiento que debe regir en sus operaciones, este será utilizado con fines académicos para categorizar los activos principales de la planta aerobia de la cervecería de Bucaramanga y permitir el desarrollo de la monografía.

¹⁰ Ibid. p. 55

El propósito de determinar la criticidad del equipo es definir la secuencia de mantenimiento requerida y la priorización para todos los componentes / equipos principales. Al final del cálculo de criticidad, tendrá una lista de equipos con diferentes grados de criticidad (A, B, o C ; donde A es el más crítico y C el menos crítico).

El primer paso será establecer una lista del equipo principal o unidades dentro del proceso . La intención será permanecer en el nivel del equipo y no bajar al nivel de conjuntos mantenibles ó componentes.

Las reglas para la clasificación de equipos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tabla de ponderación de riesgo para activos

TABLA DE PONDERACION DE RIESGO						
						
	RIESGO ALTO		RIESGO MEDIO		RIESGO BAJO	
S - Seguridad y Medio Ambiente: Riesgo potencial de que ocurran accidentes físicos y ambientales debido a malas condiciones del equipo	Riesgo alto de accidente	3	Bajo riesgo de accidente	2	Despreciable riesgo de accidente	1
Q - Calidad: Pérdidas, reclamaciones y potencial de reprocesos(Fuente: implementación de calidad)	Alto potencial de causa de pérdidas o reclamaciones	3	Bajo potencial de causa de pérdidas o reclamaciones	2	Despreciable potencial de causa de pérdidas o reclamaciones	1
W - Tiempo de trabajo: tiempo que el equipo está disponible para producción	24/ día Disponible para producción	3	8 - 24 / horas al día disponible para producción	2	8 hs/día disponible para producción	1
D - Entrega: Impacto causado en la producción de la línea debido a la avería del equipo	Línea parada por falla de una máquina	3	La máquina falla pero no interrumpe proceso	2	La máquina falla pero no interrumpe proceso o hay otra maq de repuesto	1
F - Frecuencia: Frecuencia de falla del equipo	1 Falla/ 2Meses	3	Falla entre 2 y 6 Meses	2	F < 1 Falla/ 6 Meses	1
M - Mantenibilidad: Tiempo medio para reparar del equipo	MTTR > 2 Hrs	3	0,5 < MTTR <2 Hrs	2	MTTR < 0,5 Hrs	1

Fuente: AVILA, Carlos y SAGASTEGUI, Milton. Proceso de criticidad de equipos. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018.

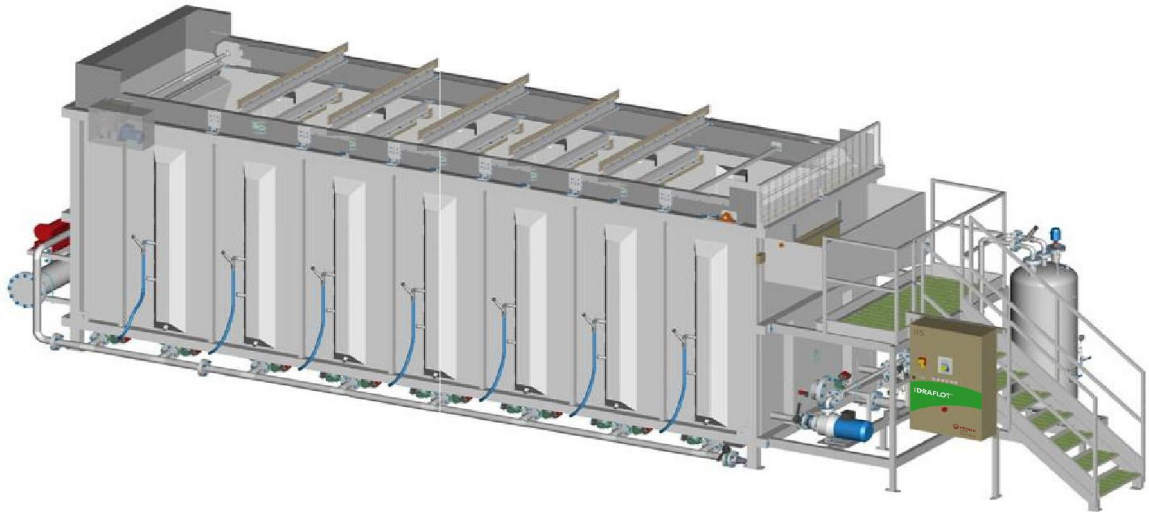
3. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 SELECCIÓN DE EQUIPO CRITICO A ESTUDIAR

Los equipos principales de la planta aerobia de tratamiento de aguas residuales son DAF, Discfilter, y Soplador a reactor MBBR, a continuación se presenta un resumen de la función de cada uno y el respectivo resultado de análisis de criticidad de acuerdo a la matriz vista anteriormente. (Galvis, 2015, p.50)

3.1.1 Equipo DAF. Sistema de flotación de airea disuelto por sus siglas en ingles, es un equipo utilizado en la clarificación de efluentes para la separación de grasas, aceite y sólidos. El equipo ayuda a concentrar el lodo, eliminando una amplia gama de sólidos suspendidos en efluentes, principalmente aceite y grasas, reduciendo además la DQO(demanda química de oxígeno) y la DBO(demanda biológica de oxigeno) . Su funcionamiento se resume en la producción de corriente de burbujas que se adhieren a los solidos de suspensión elevándolos a la superficie, donde pueden ser eliminados por un mecanismo de barrido superficial.

Figura 8. Clarificador tipo DAF instalado Cervecería de Bucaramanga



Fuente : GARCIA MORA; Leiny , SIAMA LTDA, Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual generada en la planta de tratamiento de Bavaria S.A, Bucaramanga, 2017

El resultado de la evaluación de criticidad se resume en la siguiente tabla

Tabla 2. Tabla de ponderación de riesgo para clarificador DAF

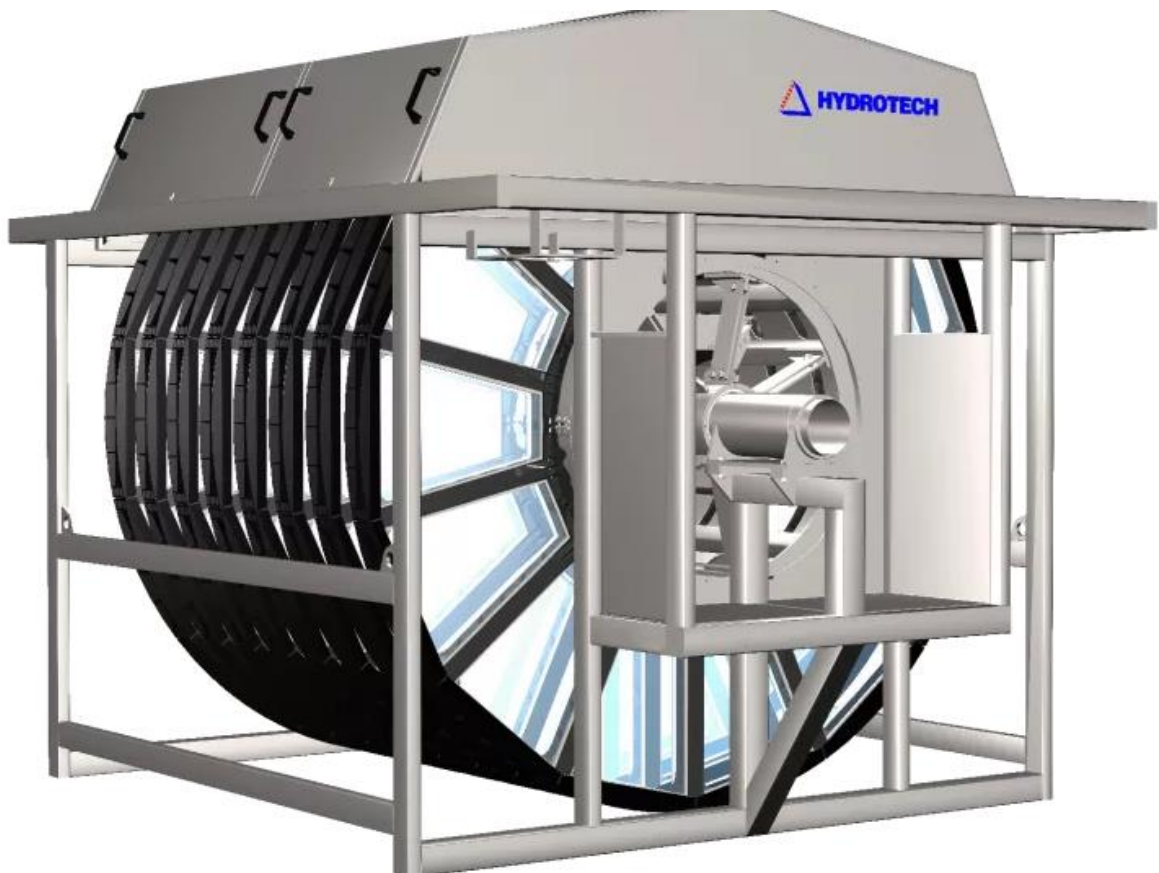
DENOMINACION EQUIPO	S	Q	W	D	F	M		CRITICIDAD
CLARIFICADOR DAF	1	1	3	2	2	3		C

3.1.2 Discfilter. Filtro de microtamices de disco, es un sistema que diltración superficial por gravedad de gran eficacia y versatilidad, que utiliza microtamices para eliminación de solidos en suspensión y turbidez, a través de mallas filtrantes

En la figura 9 se observa de mejor forma el sistema, El líquido entra en una cámara cilíndrica de eje horizontal y sale por los dos lados, a través de discos giratorios de malla filtrante, todo en acero inoxidable.

Los discos pueden separar sólidos desde tamaños tan pequeños como 30 micras hasta 350 micras siendo facil cambiar el tamaño de malla “in situ”. Los materiales eliminados son conducidos automáticamente a las bocas de descarga.

Figura 9. Discfilter instalado Cervecería de Bucaramanga



Fuente : GARCIA MORA; Leiny , SIAMA LTDA, Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual generada en la planta de tratamiento de Bavaria S.A, Bucaramanga, 2017.

El resultado de la evaluación de criticidad se resume en la siguiente tabla

Tabla 3. Tabla de ponderación de riesgo para Discfilter

DENOMINACION EQUIPO	S	Q	W	D	F	M	CRITICIDAD
DISCFILTER	1	1	3	2	1	2	C

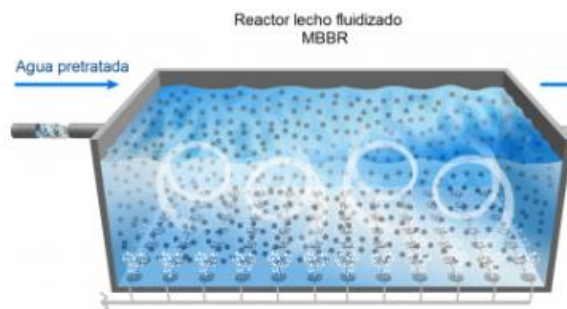
3.1.3 Soplador a reactor MBBR. El biorreactor de lecho móvil MBBR es un proceso biológico aerobio (presencia de oxígeno) que consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de bacterias aerobias. ¹¹

El cultivo bacteriano encargado de la depuración se encuentra en forma de biopelícula adherido a los portadores. Estos portadores se encuentran sumergidos y en movimiento en el reactor biológico con constante inyección de aire proveniente de un soplador Aerzen modelo GM25S.

Las bacterias incorporan la materia orgánica a su metabolismo para generar nuevo tejido celular y mantener su actividad vital. La presencia de oxígeno en el reactor se consigue insuflando aire u oxígeno puro.

La siguiente figura muestra el funcionamiento de un reactor MBBR con aireación del soplador.

Figura 10. Discfilter instalado Cervecería de Bucaramanga



Fuente: REACTOR MMBR , Gedar [Citado en diciembre de 2019] Disponible en <<https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/bioreactor-lecho-movil-mbbr.htm>>

¹¹ REACTOR MMBR , Gedar [Citado en diciembre de 2019] Disponible en <<https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/bioreactor-lecho-movil-mbbr.htm>>

Dado que el reactor es prácticamente un tanque en concreto sin partes mantenibles más que estructurales, y considerando que la vida de las bacterias depende directamente del funcionamiento del soplador, se evaluará la criticidad del soplante.

Tabla 4. Tabla de ponderación de riesgo para Soplador Aerzen

DENOMINACION EQUIPO	S	Q	W	D	F	M	CRITICIDAD
SOPLADOR AERZEN GM25S	3	3	3	3	2	3	A

3.2 SOPLADOR AERZEN GM25S

Los compresores de émbolos giratorios son máquinas cuyos émbolos giran uniformemente en sentido contrario. Las ruedas dentadas de control garantizan un giro sin contacto de los émbolos. El sentido de giro determina la dirección de transporte del soplante, de modo que existe una brida en el lado de presión y y otra en el lado de aspiración. Durante el funcionamiento, el medio de transporte fluye hasta la carcasa a través de la brida de aspiración y circula forzosamente hacia el lado de presión en las cámaras de transporte, las cuales están formadas por los émbolos y el cilindro del soplante.¹²

La reducción de la pulsación se produce por interferencias (sistema patentado Aerzen).

La cámara de transporte (cilindro) es hermetizada por las cámaras de aceite (tapa de la carcasa y caja de engranajes) mediante juntas laberínticas de anillo rectangular, y el eje de accionamiento, mediante uno o dos anillos de obturación radial.

¹² AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019]

Si el nivel de aceite es demasiado alto, el aceite puede acceder sin control a la cámara de transporte. En el proceso de compresión se genera calor. Una parte de él es evacuada al entorno a través de las superficies externas del soplante y las tuberías de transporte alcanzan temperaturas que pueden producir quemaduras en la piel si está desprotegida.

Figura 11. Soplador Aerzen GM25S instalado en Cervecería de Bucaramanga



Fuente: AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019]

3.2.1 Estrategia de mantenimiento actual y panorama financiero. Desde que el equipo soplador entró en funcionamiento en 2014, se establecieron una serie de rutinas de inspección por parte de los operadores de plantas de aguas y el mantenedor para validar el estado del nivel de aceite de la unidad ya que la correcta lubricación permitirá el funcionamiento de los émbolos internos. Además se estableció un descarte programado del filtro de succión cada 2 años. El valor del filtro es de 1.500.00 COP y es de importación, el tiempo de entrega es de aproximadamente 10 semanas después de orden de compra, el proceso de

compra para creación de pedido puede durar hasta 30 días desde creada la solicitud por parte del planeador de mantenimiento.

El presupuesto asignado al área de ingeniería y servicios es de aproximadamente 40.000.000 COP mensuales, estos se deben dividir para pago de bienes y servicios, y se deben priorizar de acuerdo a las intervenciones planeadas para los más de 100 activos que cuentan con plan de mantenimiento, sin tener en cuenta los correctivos y consumibles que mensualmente representan un 20% del gasto de mantenimiento. La siguiente tabla resume la estrategia de mantenimiento actual del equipo en mención.

Tabla 5 Tareas mantenimiento actuales a soplador.

EQUIPO	OPERACIÓN	Frecuencia actual
1010413 SOPLADOR AERZEN	I/O RCM OPER NIVEL ACEITE 1W FUN	1 semana
1010413 SOPLADOR AERZEN	DS RCM MEC FILTRO SUCCION 6M DET	2 años

La inspección del nivel de aceite consiste en verificar que el nivel de aceite se encuentre en la marcación de la mirilla, tal como muestra la figura 11

Figura 12. Nivel aceite correcto, soplador Aerzen.



Fuente: AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019]

Ahora cuando se presentas fallas en el motor o en la unidad, se realiza contratación externa para solución de los mismos, estas reparaciones pueden valer hasta 6.000.000 COP por evento.

3.2.2 Análisis de falla y repuestos críticos. Al revisar el manual del equipo, el historial de fallas en el sistema de información, y la experiencia del personal con el equipo se realiza la siguiente tabla con el análisis de las tareas que afrontan los modos de falla asociado al activo.

Tabla 6. Análisis modos de falla

EVENTO	MODO DE FALLA	TAREA
Ruidos anómalos de funcionamiento	Las correas no están alineadas	Comprobar alineación
	Daños en los rodamientos	Cambio de rodamientos
	Los émbolos giratorios se tocan entre sí o en la zona de transporte	Comprobar ajustes de holgura y eventuales fisuras en los cilindros
	Los émbolos giratorios se tocan debido a la suciedad	Limpiar la zona de transporte
	Cuerpos extraños en las ruedas dentadas	Comprobar estado de ruedas dentadas
	Golpe en el eje	medir golpe en el eje, validar cambio de émbolos giratorios
Calentamiento excesivo del soplante	Filtro de aspiración sucio	cambiar el filtro
	Temperatura ambiente demasiado alta	permitir una ventilación adecuada
	Orificios de aire entrante de la cubierta atascados	limpiar el aire entrante de la cubierta insonorizadora
	Ventilador de la cubierta defectuoso	Cambiar el ventilador
	Nivel o viscosidad de aceite demasiado alta	Corregir el nivel de aceite
	Embolo giratorio con holgura	Cambiar los componentes dañados
Penetración de aceite en medio de transporte	sobrecargado	Comprobar datos de servicio
	Nivel de aceite alto	Corregir nivel de aceite
Volumen de aspiración demasiado pequeño	Junta desgastada	Cambiar juntas
	Filtro de arranque sucio	Limpiar y sustituir filtro si es necesario
	Conductos con fugas	Hermetizar los conductos
	Soplante mal dimensionado	Comprobar dimensionamiento
Soplante gira en sentido contrario al desconectarse	Embolo giratorio /cilindro dañado	Cambiar componentes dañados
	Clapeta de retención defectuosa o con fugas	Cambio de clapeta

Fuente: AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019]

Los repuestos asociados a los sopladores se listan en la siguiente tabla

Tabla 7. Listado de repuestos asociados a soplante GM25S

CODIGO	DESCRIPCION REPUESTO	PRECIO [COP]
1045355	CORREA EN V A 64_ COMP AERZEN	\$ 120,000.00
1415126	CLAPETA ELASTICA 178654000 AERZEN	\$ 2,980,000.00
1381364	KIT RODAMIENTOS GM25S 180685001 AERZEN	\$ 3,985,000.00
1381363	KIT SELLOS GM25S 180682000 AERZEN	\$ 4,350,000.00
602217	ACEITE AERZEN - 5 L 2000015541	\$ 1,500,000.00
1000694	FILTRO 175240-000 AERZEN	\$ 1,400,000.00
1442119	MANGUITO ELASTICO 162677000 AERZEN	\$ 700,000.00
1442120	ABRAZADERA 162923000 AERZEN	\$ 95,000.00

Para evaluar la criticidad de los repuestos se utilizó la matriz de criticidad desplegada por ABInBev para sus operaciones, se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 8. Tabla evaluación de criticidad materiales repuesto.

		CATEGORY		
	Description	A ■	B ●	C ▲
S	The failure or absence of the part, involves a risk to the environment and / or SAFETY of the operator:	HIGH	MEDIUM	LOW
C	The failure or absence of parts, causes QUALITY / FOOD SAFETY defects, losses and / or rework:	HIGH	MEDIUM	LOW
F	The spare fails with some FREQUENCY	< 2 Months	Between 2 and 6 Months	> 6 Months
R	In case of failure of the part, there is SUPPORT for the parts or equipment:	No support	It can support provisionally	There is adequate support
T	The lead TIME to get the spare on the plant (including import and / or transportation) is:	Between 91 and 108 Days	Between 46 and 90 Days	< 45 Day

Fuente: AVILA, Carlos y SAGASTEGUI, Milton. Proceso de criticidad de equipos. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018.

Esta tabla considera factores como afectación derivada de la falla o ausencia de la parte en: Seguridad/ medio ambiente, calidad, frecuencia de la falla, soporte de otra pieza que pueda cumplir la función dentro del activo, y tiempo de entrega para llegada del repuesto luego de ser solicitado; al final se obtiene una ponderación A, B o C, donde A es más críticos y C menos crítico. Se evaluaron los repuestos descritos, obteniendo como resultado, clase A los siguientes repuestos:

Tabla 9. Ponderación material 1.

Code	CORREA EN V A 64_ COMP AERZEN
CRITICALITY:	A
MACHINE	SOPLADOR AERZEN
AREA	BTS AEROBIA
PLANNER	CARLOS LOZANO
STATUS CODE	ACTIVO
GR-PURCHASE	IMPORTACION

Tabla 10. Ponderación material 2.

Code	FILTRO 175240-000 AERZEN
CRITICALITY:	A
MACHINE	SOPLADOR AERZEN
AREA	BTS AEROBIA
PLANNER	CARLOS LOZANO
STATUS CODE	ACTIVO
GR-PURCHASE	IMPORTACION

Tabla 11. Ponderación material 3.

Code	ACEITE AERZEN - 5 L 2000015541
CRITICALITY:	A
MACHINE	SOPLADOR AERZEN
AREA	BTS AEROBIA
PLANNER	CARLOS LOZANO
STATUS CODE	ACTIVO
GR-PURCHASE	IMPORTACION

De esta forma se seleccionan 3 repuestos como críticos A para el soplante GM25S.

3.2.3 Propuesta estrategia de mantenimiento. Se requiere una reestructuración completa de la estrategia de mantenimiento del soplador Aerzen, se proponen las siguientes tareas resultantes del análisis de modo de falla. La frecuencia propuesta está definida en W (semanas) , M (meses) y A (años) ; el puesto de trabajo responsable es el mecánico, sin embargo cuando la operación dice OPER significa que se asigna al operador de plantas de aguas como parte de su mantenimiento autónomo.

Tabla 12. Propuesta de reestructuración de mantenimiento

EQUIPO	OPERACIÓN	Frecuencia actual	Propuesta
1010413 SOPLADOR AERZEN	I/O RCM OPER NIVEL ACEITE 1W FUN	1 semana	1W
1010413 SOPLADOR AERZEN	DS RCM MEC FILTRO SUCCION 6M DET	2 años	1A
1010413 SOPLADOR AERZEN	L/C RCM MEC FILTRO SUCCIÓN 1W DET	NULA	1W
1010413 SOPLADOR AERZEN	L/C RCM MEC LIMPIEZA INTERNA GRL 3M DET	NULA	6W
1010413 SOPLADOR AERZEN	I/F RCM MEC CORREAS 6M DET	NULA	5M
1010413 SOPLADOR AERZEN	DS RCM MEC LUBRICACIÓN 1A DET	NULA	1A
1010413 SOPLADOR AERZEN	L/C RCM MEC LINEAS SUCCIÓN Y SALIDA 6M D	NULA	1A
1010413 SOPLADOR AERZEN	I/F RCM MEC POLEAS 2A DET	NULA	1A
1010413 SOPLADOR AERZEN	I/F RCM MEC VALV SEGURIDAD 3M DET	NULA	6W
1010413 SOPLADOR AERZEN	OVERHAUL 20000HRS SOPLADOR AERZEN	NULA	3A

Esta propuesta también se alinea con la validación del fabricante, la siguiente figura muestra la distribución sugerida para las tareas por parte del proveedor como muestra la figura 12.


El siguiente paso será lograr la aprobación por la gerencia de ingeniería y validar el impacto en la disponibilidad y confiabilidad del equipo luego de la implementación de los planes de mantenimiento propuestos.

Figura 13. Programa de mantenimiento sugerido Aerzen

10.2

Programa de mantenimiento

Para cualquier trabajo en la máquina de émbolos giratorios, la misma tiene que desconectarse de la red eléctrica. ¡En otro caso existe riesgo de lesiones y daños!
Para lograr una larga vida útil y condiciones óptimas de funcionamiento, se han de realizar entre otros los trabajos de mantenimiento especificados en esta tabla y en los intervalos indicados.



	Intervalos de mantenimiento							
	A las 3 primeras HS	A las 25 primeras HS	Semanalmente	A las 500 primeras HS	Cada 1000 HS - Semestralmente si el aire ambiental está limpio - Mensualmente si el aire ambiental es pulverulento	Cada 4000 HS o semestralmente	Cada 8000 HS o anualmente	Cada 20 000 HS o trimestralmente
Le recomendamos inspeccionar la máquina de émbolos giratorios en los intervalos especificados. Las horas de servicio hacen referencia a las condiciones medias de funcionamiento. Dependiendo de las condiciones ambientales y de los datos de servicio, también son factibles otros intervalos. En este caso, consulte por favor a Aerezner Maschinenfabrik.								
Tornillos de sujeción y racores • reapretarlos una vez enfría la máquina	•							
Filtro de arranque, si existe • comprobarlo, y desmontarlo si no se produce más suciedad				•				
Filtro de aspiración • Comprobar la suciedad del filtro y cambiar el cartucho del mismo en caso necesario; máx. -45 mbar • Cambiar el cartucho del filtro			•				•	
Orificios de aire entrante y de salida • de la cubierta insonorizadora: comprobarlos y limpiarlos					•			
Estado de la correa trapezoidal • Comprobarla y cambiarla en caso necesario		•		•		•	•	
Alineación de la polea de transmisión • Comprobarla y corregirla en caso necesario	•	•		•		•	•	

Fuente: AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019].

4. CONCLUSIONES

El impacto sobre requisitos legales y medio ambiente, así como la estructuración de una estrategia de mantenimiento sostenible y ajustada a los lineamientos desplegados por la empresa motivó al desarrollo de este trabajo.

De esta forma se desarrolló una propuesta para la reestructuración de la forma en que estaba planteada la ejecución del mantenimiento del soplador Aerzen GM25S, equipo crítico fundamental de la planta aerobia de tratamiento de agua residual de la cervecería de Bucaramanga a través de la optimización del mantenimiento preventivo.

Se presentó el panorama actual de la estrategia de mantenimiento preventivo del área con respecto al equipo en estudio, los cambios en recurso humano tras la fusión con ABInBev y la parte financiera asociada al mantenimiento en el departamento, de esta forma se realizó un análisis de criticidad de los activos involucrados en el sistema y se evaluaron sus repuestos críticos. Permitiendo así generar una propuesta integral producto de la sinergia entre experiencia y participación del personal, análisis de modos de fallas, recomendaciones del fabricante, y gestión estratégica en planeación y programación de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

AERZEN, manual de operación soplante GM25S.[Citado en diciembre de 2019].

AVILA, Carlos y SAGASTEGUI, Milton. Proceso de criticidad de equipos. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018.

BAVARIA & CIA S.C.A , Acerca de nosotros [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros/historia-bavaria>

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

GARCIA MORA; Leiny , SIAMA LTDA, Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual generada en la planta de tratamiento de Bavaria S.A, Bucaramanga, 2017.

GOMEZ LUBO, Nestor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 KV /7,2 KV de la empresa carbones del Cerrejon. Bucaramanga, 2012. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

LATORRE VESGA, Andrés Fabian y VILLEGAS CONTRERAS, Ezequiel. Metodología para planeación, ejecución y cierre de mantenimientos mayores en equipos del área de ingeniería y servicios de la cervecería Bavaria Bucaramanga. Bucaramanga, 2016. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial

de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA Resolución 631 de 2015, diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015 [en línea] [Citado en diciembre de 2019]. Disponible en https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf

MULLEN, Rick y PARBHU, Sangeev. Proceso de planificación y programación de mantenimiento. VPO pilar mantenimiento, ABInBev ,2018.

PALMER, Richard, Manual de planificación y planificación de mantenimiento, McGraw-Hill, 1999

REACTOR MMBR , Gedar [en línea] [Citado en diciembre de 2019] Disponible en <https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/bioreactor-lecho-movil-mbbr.htm>

VALDERRAMA, María del Pilar. Optimización del plan de mantenimiento (PMO). OMCS international 2010.