

**IMPLEMENTACIÓN Y/O ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN LAS
ÁREAS DE SERVICIOS INDUSTRIALES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA BAVARIA BUCARAMANGA**

**CESAR ENRIQUE GUAYACUNDO HERREÑO
BRAYAN DAVID RODRIGUEZ GRIJALBA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

**IMPLEMENTACIÓN Y/O ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN LAS
ÁREAS DE SERVICIOS INDUSTRIALES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA BAVARIA BUCARAMANGA**

CESAR ENRIQUE GUAYACUNDO HERREÑO

BRAYAN DAVID RODRIGUEZ GRIJALBA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

ISNARDO GONZALEZ JAIMES

Doctor en ingeniería mecánica

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

En primer lugar dedico este triunfo a Dios por darme la capacidad, sabiduría y fortaleza para asumir esta etapa hasta el final.

A mis padres Manuel Guayacundo y Yolanda Herreño por el esfuerzo y lucha diaria que hacían para mantener en pie este sueño que no era tan solo mío, este triunfo también es de ustedes. Toda la vida voy a estar agradecido con Dios por esos padres tan maravillosos que me dio.

También se lo dedico a todas aquellas personas que se cruzaron en mi camino, brindándome apoyo incondicional y una voz de aliento para seguir en pie de lucha.

Cesar Enrique Guayacundo Herreño

DEDICATORIA

A Dios primeramente por darme la fortaleza de culminar esta etapa de mi vida y poder asumir los retos que trae cada día

A mi hermano Yeison Rodríguez por su apoyo incondicional durante esta etapa mi vida, sin él la lucha cada día hubiese sido más difícil

A mis padres Rafael Rodríguez y Cristina Grijalba por trabajar incansablemente para poder brindarme lo necesario en este proceso de formación, agradezco el acompañamiento desde la distancia en esas noches de traspasado y estudio. Este logro más que mío es de ustedes.

A mis tíos y familiares que siempre me brindan su apoyo en el momento que lo necesito, a todos muchas gracias

Brayan David Rodríguez Grijalba

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores, por transmitir su conocimiento y aportar en nuestra formación como profesionales.

A nuestro director Ing. Isnardo González Jaimes, por ser el guía brindándonos acompañamiento y soporte profesional durante la fase de ejecución del proyecto.

Al Ingeniero Andrés Fabián Latorre Vesga de Bavaria, por darnos la oportunidad de realizar el proyecto de grado en esta prestigiosa empresa, por el apoyo invaluable que nos brindó en la ejecución del proyecto.

A nuestros compañeros que de una u otra manera se vieron involucrados en nuestro proceso de formación.

A todos Muchas Gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	19
1.1 LOCALIZACIÓN.....	19
1.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	20
1.3 POLÍTICAS DE LA EMPRESA.....	20
1.3.1. Misión.....	21
1.3.2. Visión.. ..	21
1.3.3 Valores organizacionales.	21
1.3.4 Políticas de conducta empresarial.	22
1.4 PROCESOS DE LA EMPRESA.	23
1.4.1 Mapa de procesos Bavaria	23
1.4.2 Proceso de mantenimiento en Bavaria S.A.....	23
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.6 OBJETIVO GENERAL	25
1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.8 JUSTIFICACIÓN.....	26
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	28
2.1 HISTORIA RCM	28
2.1.1 Primera generación.....	29
2.1.2 Segunda generación.....	29
2.1.3 Tercera generación.....	29
2.1.4 Antecedentes históricos.....	30
2.2 DEFINICIONES BÁSICAS DEL RCM.....	31
2.3 FUNDAMENTOS DEL RCM	32
2.3.1 Taxonomía.....	32

2.3.2 Listado de funciones y especificaciones.	34
2.3.3 Determinación de fallos funcionales y técnicos.....	35
2.3.4 Determinación de los modos de fallo.	38
2.3.5 Análisis de la gravedad de los fallos (criticidad).....	38
2.3.6 Determinación de medidas preventivas.	40
2.3.7 Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas.....	41
2.3.8 Puesta en marcha de las medidas preventivas obtenidas..	42
2.3.9 Aplicación del proceso RCM..	44
3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	46
3.1 PROCESO DE LA PTAR	46
3.1.1 Pre tratamiento..	47
3.1.2 Tratamiento Primario	48
3.1.3 Tratamiento Secundario.....	48
3.2 NORMA AMBIENTAL	50
4. DEPARTAMENTO DE SERVICIOS INDUSTRIALES.....	52
4.1 SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.....	53
4.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.	53
4.3 SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y PURIFICACIÓN DE CO2.	54
4.4 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.	56
5. CALIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	57
5.1 CALIFICACIÓN MEDIANTE DIAGRAMA DE FLUJO	57
5.1.1 Proceso de calificación mediante el diagrama de flujo.	58
5.1.2 Hoja de cálculo Excel.	59
5.1.3 Detalle del proceso de calificación.....	59

5.2 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE PARETO	61
5.2.1 Análisis de Pareto costos de mantenimiento..	61
5.2.2 Análisis de Pareto fallas de equipos..	64
5.3 INTERSECCIÓN DE EQUIPOS EN LOS TRES LISTADOS	67
6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCM	71
6.1 PARTICIÓN DE LOS SISTEMAS	71
6.1.1 Tren de gas natural.	73
6.1.2 Tren de acpm. :.....	74
6.1.3 Tren de gas de llama piloto.....	76
6.1.4 Control de combustión.....	77
6.1.5 Estructura.....	78
6.1.6 Red de vapor.:	79
6.1.7 Sistema de agua.....	79
6.1.8 Control y de potencia.....	80
6.2 CAUSA Y EFECTO.....	81
6.3 LISTA DE TAREAS MSG III.....	83
7. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.....	86
7.1 NIVELES ATM PARA OPERADORES	86
7.2 RESULTADO DE LA CALIFICACIÓN.....	91
7.3 ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES.....	93
7.4 TAREAS A REALIZAR LOS OPERADORES	93
8. GENERACIÓN DOCUMENTO SUAVIZADO.....	95
9. INDICADORES DE FALLA	98
9.1 DESARROLLO INDICADORES.....	100
10. CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	107
ANEXOS.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ubicación geográfica Bavaria Bucaramanga.....	19
Figura 2. Fachada Bavaria Bucaramanga.	19
Figura 3. Mapa de procesos Bavaria S.A	23
Figura 4. Organigrama proceso mantenimiento.....	24
Figura 5. Generaciones del mantenimiento	31
Figura 6. Niveles de jerarquía de los equipos.....	33
Figura 7. Diagrama funcional de falla.	37
Figura 8. Matriz de riesgo de los equipos.	39
Figura 9. Plan de mantenimiento inicial.	43
Figura 10. Plan de mantenimiento RCM.....	44
Figura 11. Grupo de revisión RCM.	45
Figura 12. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	46
Figura 13. Proceso planta de tratamiento de aguas residuales.	50
Figura 14. Parámetros de vertimiento del sector elaboración de bebidas	51
Figura 15. Parámetros objeto de análisis.....	51
Figura 16. Área de servicios industriales, sector de calderas.	52
Figura 17. Área de servicios industriales, sector de refrigeración.....	54
Figura 18. Sistema de purificación del CO_2	55
Figura 19. Compresor nirvana.	56
Figura 20. Diagrama de flujo para la calificación de equipos.....	58
Figura 21. Diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.....	62
Figura 22. Diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.....	65
Figura 23. Paso 1 para la intersección de las tablas de equipos críticos.....	68
Figura 24. Paso 2 para la intersección de las tablas de equipos críticos.....	68
Figura 25. Subsistema tren de gas natural	73
Figura 26. Subsistema tren de acpm A.....	74
Figura 27. Subsistema tren de acpm B.....	74
Figura 28. Subsistema tren de acpm C.....	75
Figura 29. Subsistema tren de gas de llama piloto.	76

Figura 30. Subsistema control de combustible.	77
Figura 31. Subsistema estructural.	78
Figura 32. Subsistema de control y potencia.	80
Figura 33. Ejemplo hoja de partición en Excel.	81
Figura 34. Ejemplo hoja de causa y efecto en Excel.	82
Figura 35. Matriz de calificación probabilidad consecuencia.	82
Figura 36. Estructura hoja de Excel MSG3.	85
Figura 37. Niveles 1-2 ATM para operadores.	87
Figura 38. Niveles 3-4 ATM para operadores.	88
Figura 39. Niveles 5-6-7 ATM para operadores.	89
Figura 40. Niveles 8-9 ATM para operadores.	90
Figura 41. Resultado de calificación de los operadores.	91
Figura 42. Asignación de actividades a los operadores y técnicos.	93
Figura 43. Tareas a realizar los operadores de proceso.	94
Figura 44. Documento suavizado, tareas del operario.	95
Figura 45. Documento suavizado, tarea personal de mantenimiento.	96
Figura 46. Documento suavizado Eléctricos nivel 2 y Mecánicos nivel 4.	97
Figura 47. Clases de avisos del SAP.	99
Figura 48. Disponibilidad según 5 nueves.	100
Figura 49. Tiempos promedios.	101
Figura 50. Calificación indicador de falla.	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos críticos según el diagrama de flujo.....	60
Tabla 2. Tabla resumen calificación por diagrama de flujo.....	61
Tabla 3. Listado de equipos con calificación A.	62
Tabla 4. Tabla resumen diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.	64
Tabla 5. Listado de equipos con calificación A.	65
Tabla 6. Tabla resumen diagrama de Pareto por fallas de equipos.....	67
Tabla 7. Primera intersección de los equipos críticos.	69
Tabla 8. Equipos críticos finales.	69

LISTA DE ANEXOS

Estos anexos se encuentran en carpeta adjunta en CD.

ANEXO A. LISTADO DE EQUIPOS CALIFICADOS POR EL DIAGRAMA DE FLUJO.....	
ANEXO B. LISTADO DE EQUIPOS POR COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	
ANEXO C. LISTADO DE EQUIPOS POR FALLAS.....	
ANEXO D. CLARIFICADOR DAF.....	
ANEXO E. FILTRO BANDA.....	
ANEXO F. COMPRESOR NIRVANA.....	
ANEXO G. RED DE AGUA CALDERAS.....	
ANEXO H. SOPLADOR AERZEN.....	
ANEXO I. PURIFICADOR CO2.....	
ANEXO J. COMPRESOR AMONIACO 2.....	
ANEXO K. COMPRESOR AMONIACO VX-4.....	
ANEXO L. TANQUE ACIDO CLORHIDRICO.....	
ANEXO M. COMPRESOR AMONIACO VX-5.....	
ANEXO N. CALDERA 4.....	
ANEXO O. REACTOR ANAEROBIO.....	
ANEXO P. CALDERA 5.....	

RESUMEN

TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN Y/O ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN LAS ÁREAS DE SERVICIOS INDUSTRIALES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA BAVARIA BUCARAMANGA*

AUTORES:

CESAR ENRIQUE GUAYACUNDO HERREÑO**
BRAYAN DAVID RODRIGUEZ GRIJALBA**

PALABRAS CLAVE:

Mantenimiento centrado en confiabilidad, planta de tratamiento de aguas residuales, servicios industriales.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto muestra la implementación de un modelo de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos críticos que arroje el análisis de Pareto teniendo en consideración tres factores, en los que se encuentra lista de conteo de fallas por equipo, lista de presupuesto invertido anual por averías del equipo y por medio de una matriz de criticidad establecida en mantenimiento. Los equipos para el análisis se encuentran ubicados en los departamentos de servicios industriales y planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería Bavaria Bucaramanga.

Una vez teniendo el número de equipos críticos, se procede a desarrollar o actualizar la metodología RCM donde se crea una distribución de árbol jerárquico como lo establece la norma ISO 14224. Luego se siguen los lineamientos de la norma SAE JA 1011 que establece los "criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad". Como resultado de este proceso se obtiene el cronograma de distribución de tareas (suavizado) donde previamente se hace evaluación para establecer el nivel de capacidad del operador para asignar tareas de mantenimiento.

El resultado de la metodología asegura que el equipo funcione en perfectas condiciones reduciendo el número de paradas no programadas las cuales afectan directamente la producción.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director:
Ing. Isnardo González Jaimes

ABSTRACT

TITLE:

IMPLEMENTATION AND / OR UPDATING OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE FOR CRITICAL EQUIPMENT IN THE AREAS OF INDUSTRIAL SERVICES AND RESIDUAL WATER TREATMENT PLANT OF THE BAVARIA BUCARAMANGA BREWERY *

AUTHORS:

CESAR ENRIQUE GUAYACUNDO HERREÑO **
BRAYAN DAVID RODRIGUEZ GRIJALBA **

KEYWORDS:

Maintenance focused on reliability, wastewater treatment plant, and industrial services.

DESCRIPTION:

This project shows the implementation of a maintenance model based on the RCM methodology for the critical equipment that the Pareto analysis yields, taking into account three factors, in which there is a list of failure counts per team, annual budget list invested by Faults of the equipment and by means of a criticality matrix established in maintenance. The equipment for the analysis is located in the departments of industrial services and wastewater treatment plant of the Bavaria Bucaramanga brewery.

After having the number of critical equipment, it is proceeded to develop or update the RCM methodology where a hierarchical tree distribution is created as established by ISO 14224. Then the SAE JA 1011 guidelines are followed, which establishes the "criteria Reliability-focused maintenance processes. " As a result of this process, the task distribution schedule (smoothing) is obtained where it is previously evaluated to establish the level of operator capacity to assign maintenance tasks.

The result of the methodology ensures that the equipment works in perfect conditions reducing the number of unscheduled stops which directly affect the production.

* Graduation project

** Faculty of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Directed: Ing. Isnardo González Jaimes

INTRODUCCIÓN

Bavaria es una compañía que inició en el año 1889, es la empresa de bebidas más grande de Colombia y hace parte de la familia AB InBev desde el año 2016; quien es una multinacional Belga 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.

La Cervecería de Bucaramanga fue inaugurada el 1° de diciembre de 1948 en el mismo lugar donde hoy opera. La cervecería, la cual están distribuidas por las áreas de servicios industriales, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), almacenamiento, producción, entre otras. Haciendo enfoque específicamente a dos áreas, donde el área de servicios industriales comprende las subdivisiones de generación de vapor, refrigeración, sistema de recolección y generación de CO₂, aire comprimido y una subestación eléctrica. Esta área es la encargada de proveer los elementos básicos para el funcionamiento de esta cervecería, debido a que esta área es vital para el proceso de producción ya que suministra vapor para las líneas de envase, cocinas, entre otros. Cualquier parada o falla de cualquier equipo tiene consecuencias en la producción de bebidas. Una estrategia para reducir este factor negativo en el área es la aplicación de la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad con el fin de que todas las máquinas sean óptimas.

El presente proyecto surge como solución a la necesidad de la empresa Bavaria Bucaramanga de garantizar la confiabilidad de los equipos críticos de su producción, por esta razón se propone implementar la metodología RCM a equipos críticos de las áreas de servicios industriales y planta de tratamiento de aguas residuales que no cuenten con esta metodología y actualizar la metodología a los equipos que ya cuentan con este proceso.

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 LOCALIZACIÓN

Actualmente la empresa Bavaria Bucaramanga cuenta con una planta de producción localizada en el Kilómetro 4 carretera Café Madrid, Bucaramanga (Santander), sitio estratégico para la comercialización de sus productos en la región del nororiente colombiano.

Figura 1 ubicación geográfica Bavaria Bucaramanga.



Fuente: google maps. Bavaria Bucaramanga. [En línea]. (Recuperado en 10 febrero 2017.)
Disponble en <https://www.google.com.co/maps/search/bavaria+bucaramanga/@7.1364659,-73.1436259,13z/data=!3m1!4b1>

Figura 2. Fachada Bavaria Bucaramanga.



1.2 RESEÑA HISTÓRICA¹

La cervecería Bavaria Bucaramanga en 2005 obtuvo un proceso de repotenciación y modernización de su planta física, instalaciones y equipos con un costo de 22 millones de dólares. Entre las obras más importantes que se desarrollaron en las nuevas instalaciones, están la construcción de un sistema uniproceso, la instalación de una sala de conocimientos y cocinas de la marca Ziemann, que pueden producir hasta dos millones de hectolitros anuales. La planta actualmente cuenta con un tren de embotellado que envasa 400 millones de cervezas de 330 centímetros cúbicos al año. Se destacan los altos estándares ambientales que maneja esta nueva planta ya que tiene una planta de tratamiento de aguas residuales, que mejora las condiciones físicas y químicas del agua que se utiliza en el proceso y que vierte sobre el río Suratá.

1.3 POLÍTICAS DE LA EMPRESA²

Se expresa las políticas de la cervecería Bavaria Bucaramanga fundamentales en los pilares de la empresa y que en ningún momento se desvíen de rumbo con el fin de alcanzar todos los propósitos que se deseen ejecutar.

¹ BAVARIA. Acerca de nosotros: historia. [En línea]. (recuperado 10 febrero 2017). Disponible en http://www.sitiosexternos.bavaria.co/11-2/cerveceria_de_bucaramanga_an/

² AB Inbev. Nuestra visión [En línea]. (recuperado 10 febrero 2017). Disponible en <https://www.ab-inbev.es/empresa/nuestra-vision/>

1.3.1. Misión. Crecer en el mercado a un consumo per cápita anual de 60 litros, asegurando el liderazgo de nuestro portafolio de marcas nacionales e internacionales en cada una de las categorías de bebidas y en todos los segmentos del mercado.

1.3.2. Visión. El sueño de AB InBev es unir la gente por un mundo mejor. Eso significa contar con la mejor gente y los mejores productos, pero también contribuir de forma positiva a la sociedad a través de tres pilares que consideramos indispensables para lograr conseguir los objetivos que nos hemos marcado dentro de nuestra estrategia de responsabilidad social corporativa (“Better World”): Consumo Responsable, Comunidad y Medio Ambiente.

1.3.3 Valores organizacionales.³

1. Nuestro sueño compartido nos motiva a todos a trabajar en la misma dirección para ser: La Mejor Compañía Cervecera Uniendo a la Gente Por un Mundo Mejor.
2. Nuestra mayor fortaleza es nuestra gente. La Gente Excelente crece en la medida de su talento y es retribuida en consecuencia.
3. Seleccionamos, desarrollamos y retenemos a las personas que pueden ser mejores que nosotros. Nos juzgarán por la calidad de nuestros equipos.
4. Nunca estamos completamente satisfechos con nuestros resultados, que son el combustible de nuestra compañía. El foco y la complacencia cero garantizan una ventaja competitiva duradera.
5. El consumidor manda. Servimos a nuestros consumidores ofreciendo experiencias de marca que tienen un papel importante en sus vidas y siempre de una forma responsable.

³ AB Inbev. Acerca de nosotros: Nuestros diez principios. [En línea]. (recuperado en 10 febrero 2017.) Disponible en <http://www.ab-inbev.com/about-us/our-culture.html>

6. Somos una compañía de dueños. Los dueños asumen los resultados como algo personal.
7. Creemos que el sentido común y la simplicidad generalmente son mejores guías que la sofisticación y complejidad innecesarias.
8. Controlamos estrictamente nuestros costos para liberar recursos que mantendrán un crecimiento sostenible y lucrativo de nuestros ingresos.
9. Liderar mediante el ejemplo personal es el corazón de nuestra cultura. Hacemos lo que decimos.
10. Nunca tomamos atajos. La integridad, el trabajo duro, la calidad y la responsabilidad son la clave para construir nuestra compañía.

1.3.4 Políticas de conducta empresarial.⁴ Consta de documentos en los cuales se destaca la transparencia de los procesos de la compañía, entre los que se encuentran los siguientes:

- Código de Ética Latam: Establece el derecho de apelación a las decisiones del Comité de Ética, así como unas pautas para comprender mejor el concepto de los conflictos de intereses, y reitera nuestro compromiso con el respeto a los Derechos Humanos.
- Política Anti soborno: Conscientes de la necesidad de estimular prácticas encaminadas a mitigar los riesgos de corrupción que existen en el sector público y privado de Colombia, en noviembre del 2011, implementamos una regulación denominada Política Anti soborno.
- Línea ética: Con el fin de fomentar una cultura de la legalidad y la

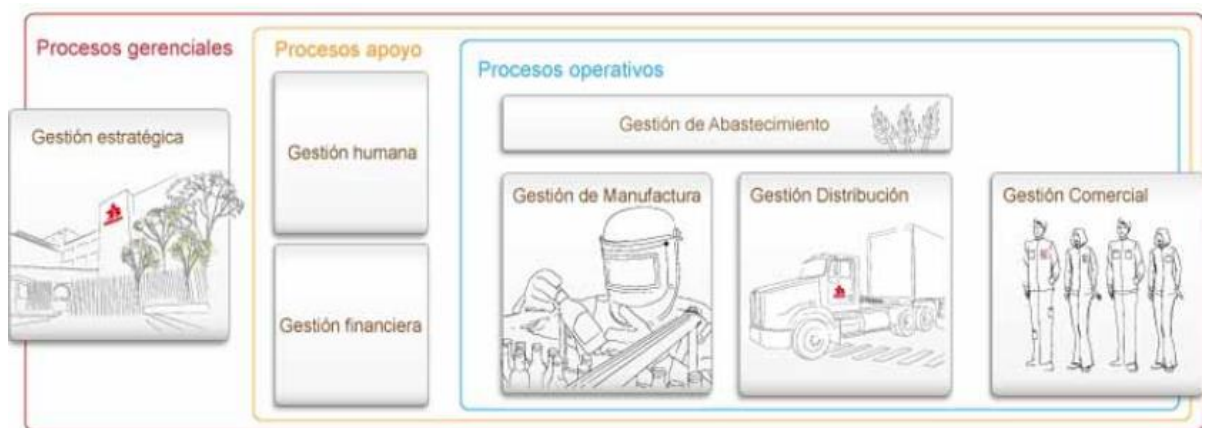
⁴ BAVARIA. Acerca de nosotros: políticas de conducta empresarial. [En línea]. (recuperado 10 febrero 2017). Disponible en http://www.sitioexternos.bavaria.co/11-2/cerveceria_de_bucaramanga_an/

transparencia, los empleados (directos e indirectos), proveedores (de bienes y/o servicios), distribuidores, clientes y terceros en general, que se relacionen con la Empresa, tienen a su disposición la Línea Ética, una herramienta creada para recibir los reportes de comportamientos antiéticos.

1.4 PROCESOS DE LA EMPRESA.

1.4.1 Mapa de procesos Bavaria

Figura 3. Mapa de procesos Bavaria S.A



Fuente: BAVARIA. Acerca de nosotros: historia. [En línea]. (Recuperado 10 febrero 2017). Disponible en <https://www.google.com.co/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=mapa+de+proceso+s+bavaria&oq=mapa+de+procesos+Bavaria> 1.1.64.img..0.0.0.k0wmv2XLCEk #imgsrc=LIMesnsmc7I7pM

1.4.2 Proceso de mantenimiento en Bavaria S.A

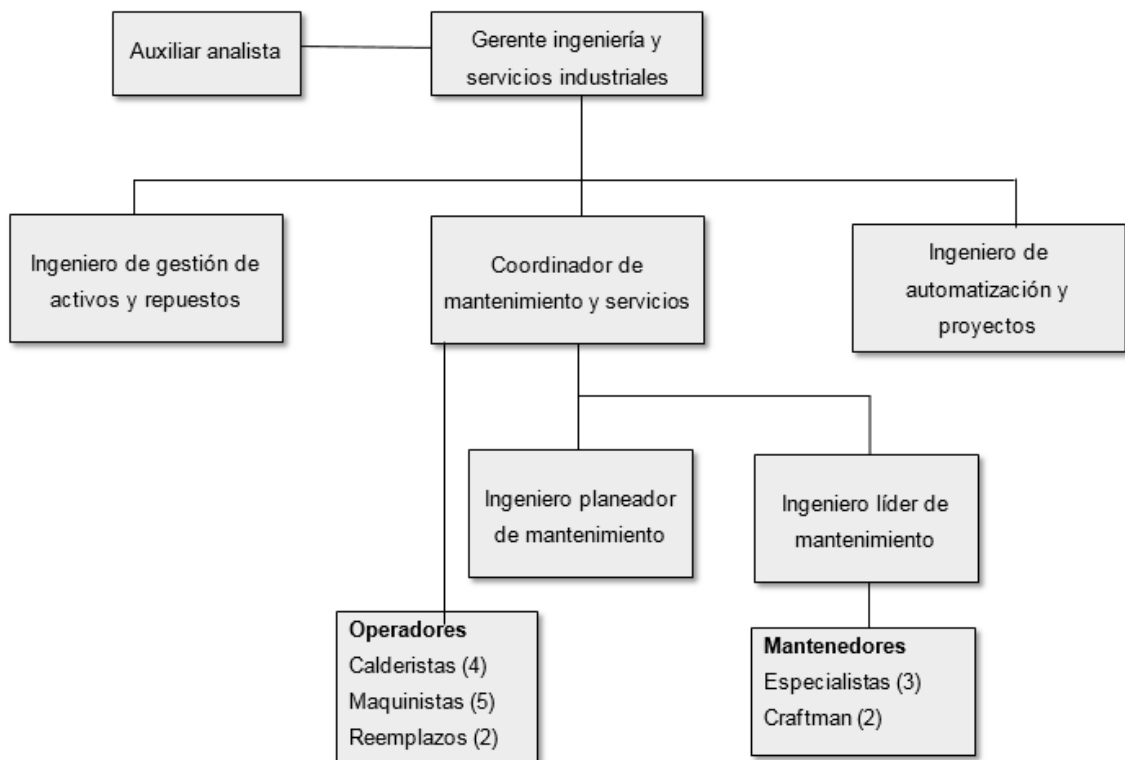
En la cervecería de Bucaramanga el mantenimiento juega un papel muy importante en el desarrollo de la compañía, es por eso que cuenta con un departamento especializado para estas labores.

1.4.2.1 Misión del mantenimiento. Cumplir con las tareas de mantenimiento, en una forma oportuna para garantizar el buen funcionamiento de los equipos.

1.4.2.2 Visión del mantenimiento. Ser el equipo de mantenimiento y operación más admirado de Colombia y AB Inbev, por la vivencia de las prácticas de manufactura de clase mundial y su excelencia operacional, asegurando una confiabilidad de servicios del 100% con las especificaciones de calidad que requieren todos nuestros clientes, lo anterior enmarcado en un comportamiento enfocado a la mejora continua que privilegie la seguridad, el buen ambiente de trabajo, la calidad y la eficacia en la respuesta a los requerimientos.

1.4.2.3 Organigrama departamento de ingeniería y servicios industriales.

Figura 4. Organigrama proceso mantenimiento.



1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como parte del proceso de mejora continua y con el ánimo de seguir siendo una de las mejores compañías en Colombia y a nivel mundial gracias a su excelente labor en la producción cervecera y su política eco amigable, la cervecería de Bucaramanga actualiza su estrategia de mantenimiento ya que éste juega un papel muy importante en el desarrollo de los objetivos de esta empresa, ya que un mantenimiento bien planeado genera un buen funcionamiento de los equipos, que a su vez va en relación hacia un buen rendimiento de la planta.

Empresas de este tamaño trabajan día a día en la continua mejora de las diferentes áreas de las cuales está compuesta; siendo la planta de tratamiento de aguas residuales una área clave para el funcionamiento en general de la empresa y que como principal actividad es constituir una pieza esencial en la gestión del impacto del proceso cervecero sobre el recurso hídrico, y en la generación de energía renovable. Por su importancia ambiental y económica se busca el mejoramiento, la confiabilidad de la operación y el cumplimiento de los propósitos, con la empresa, con el medio ambiente y con la comunidad. Debido a que esta área al igual que la de servicios industriales, la cual genera vapor y frío, componente fundamental para la producción cervecera, no puede tener ninguna falla en sus máquinas ya que inmediatamente se interrumpe la producción; por este motivo, son denominadas áreas críticas y requieren una buena labor en la gestión de mantenimiento.

1.6 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la misión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander con el fin de favorecer al desarrollo social, científico y tecnológico y dar respuesta a las necesidades de la sociedad, generando una relación industria-estudiante, mediante el desarrollo y actualización del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos críticos en el área de servicios industriales y planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería Bavaria Bucaramanga, satisfaciendo las necesidades para un buen

funcionamiento de los equipos en estas áreas de la empresa.

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el análisis de criticidad a todos los equipos que se encuentran en los departamentos (Servicios industriales, PTAR), mediante un análisis de Pareto.
- Desarrollar y/o actualizar la metodología RCM a los equipos críticos que arrojó el análisis de Pareto.
- Implementar Mantenimiento Autónomo en las tareas obtenidas en el RCM según el conocimiento del operador.
- Generar un suavizado al RCM, distribuido en un 80% para las tareas arrojadas por el RCM y 20% para tareas imprevistas, haciéndole también una distribución de tareas en un intervalo de tiempo; siendo todo esto una política de Bavaria S.A.
- Establecer indicadores de falla para caracterizar la gestión del mantenimiento en las secciones de servicios industriales y PTAR.

1.8 JUSTIFICACIÓN

Con los constantes problemas de falla de equipos y de paradas de los mismos, los cuales afectan la productividad de cualquier empresa sin importar el tipo de sector a la que esta se dedique, esto incrementa los costos y las labores por parte del departamento de mantenimiento.

Las fallas frecuentes e imprevistas en cualquier equipo, afectan los procesos de producción de la misma volviéndose poco confiables, que a su vez no se garantiza la calidad ni la entrega puntual del producto a clientes de tipo interno o externo de la empresa, quedando sin satisfacer todas las necesidades que tiene este grupo de personas.

Es parte importante en la gestión de activos, garantizar la confiabilidad inherente de cada uno de los equipos bajo sus condiciones de diseño, una manera de

lograr esto es que las personas encargadas de la operación de los equipos tengan los conocimientos adecuados de funcionamiento básico operacional de los equipos.

Involucrar a los operadores que adquieran estos conceptos operacionales, requiere un cambio de cultura la cual conlleva a que las labores de mantenimiento se realicen de una manera más eficiente, reduciendo tiempo de inactividad, trabajos innecesarios, etc.

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.1 HISTORIA RCM⁵

El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “ Reliability Centered Maintenance” “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dio nombre al proceso. Este libro fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA). En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial.

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2 ed. Asheville: Aladon LLC., 2004. p4

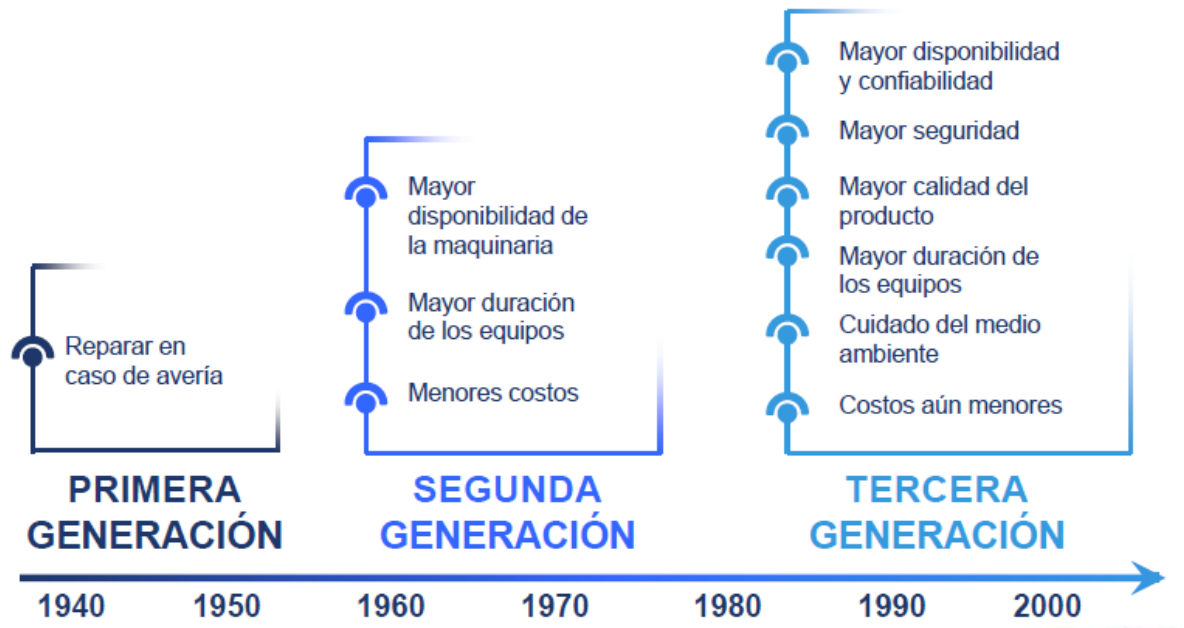
2.1.1 Primera generación. La primera Generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas ni importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

2.1.2 Segunda generación. Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían comenzado a depender de ellas. Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del mantenimiento programado. En los años 60 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos. El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

2.1.3 Tercera generación. El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

2.1.4 Antecedentes históricos. Al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estarían oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, conectada con el auge de los viajes aéreos, significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. En esos días, “mantenimiento” significaba una cosa: reparaciones periódicas. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrán las piezas antes de que gastaran y así prevenir fallas. Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asume que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones: después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban. La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es el mantenimiento basado en la metodología RCM. El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos – y para manejar las consecuencias de sus fallas, de estos procesos, el RCM es el más directo.

Figura 5. Generaciones del mantenimiento



Fuente: guía práctica RCM. Ortiz Ruiz consultores S.A.S.

2.2 DEFINICIONES BÁSICAS DEL RCM

Según John Moubray⁶, mantenimiento es la capacidad de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan y expresa que el mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso que se utiliza para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo la función para la cual fue diseñado.

Según la SAE⁷ el RCM es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado.

⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2 ed. Asheville: Aladon LLC., 2004.p68

⁷ SAE JA 1011, Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad, sección 1.1

2.3 FUNDAMENTOS DEL RCM

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del RCM.

En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno. Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

2.3.1 Taxonomía. Cuando se trata de resolver problemas, una de las claves es conocer y definir exactamente cuál es. De la misma manera, en esta metodología se requiere definir con precisión el elemento objeto de análisis. La norma ISO 14224⁸ la define como “systematic classification of items into generic groups based on factors possibly common to several of the items” (Clasificación sistemática de ítems dentro de un grupo genérico basado en factores posiblemente comunes a todos los ítems). Por ello, se debe empezar desde lo macro de la planta y llegar hasta lo más bajo posible que sea requerido, identificando los elementos que entregan una función principal.

Para entender un poco mejor se presentan las siguientes definiciones:

⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:1999. 1 ed.

2.3.2 Listado de funciones y especificaciones⁹. Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdividen deben cumplir la suya. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas.

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos equipos y elementos, por muy pequeño que fuera, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que se deben asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. Por ello, es suficiente detallar las funciones de unos pocos equipos, que se denominar 'equipos significativos'.

Todos los elementos de estudio tienen por sí mismos una función que cumplir dentro de cualquier proceso. Su pérdida llega a afectar la disponibilidad con la consecuente pérdida económica, daño a las personas o afectación al medio ambiente.

A continuación una descripción de funciones de equipos:

- Usualmente son menos obvias pero su falla puede tener consecuencias graves. Ayudan a cumplir o soportar la función principal.
- Son auxiliares o soportan funciones esenciales.
- Entregan protección y/o integridad ambiental.
- Dan protección: higiene, seguridad / Integridad estructural.
- Facilitan el monitoreo de condición, calibración, alarmas, etc.
- Aportan a la economía y eficiencia del proceso.

Algunos conceptos que se deben tener en cuenta para la definición de funciones son:

⁹ RENOVETEC. RCM fase 1: listado de funciones. [En línea]. (recuperado 13 febrero 2017). Disponible en http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5186/mod_resource/content/1/Documentos/PlandeMantenimientoBasadoRCM.pdf

- El contexto operacional.
- El Tipo de proceso.
- La instalación de Redundancia.
- Los estándares de calidad.
- las condiciones del Medio ambiente.
- Los riesgos de seguridad.
- Los ciclos de trabajo.
- Los productos en proceso.
- La disponibilidad o confiabilidad exigida.
- El abastecimiento de materias primas.

2.3.3 Determinación de fallos funcionales y técnicos¹⁰. Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello si se realiza correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar los fallos: posiblemente se tendrá un fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo). Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos.

Se define como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes. Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste. Pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales se pueden citar las siguientes: consulta al histórico de averías, consultas al personal de mantenimiento y de producción, y estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.

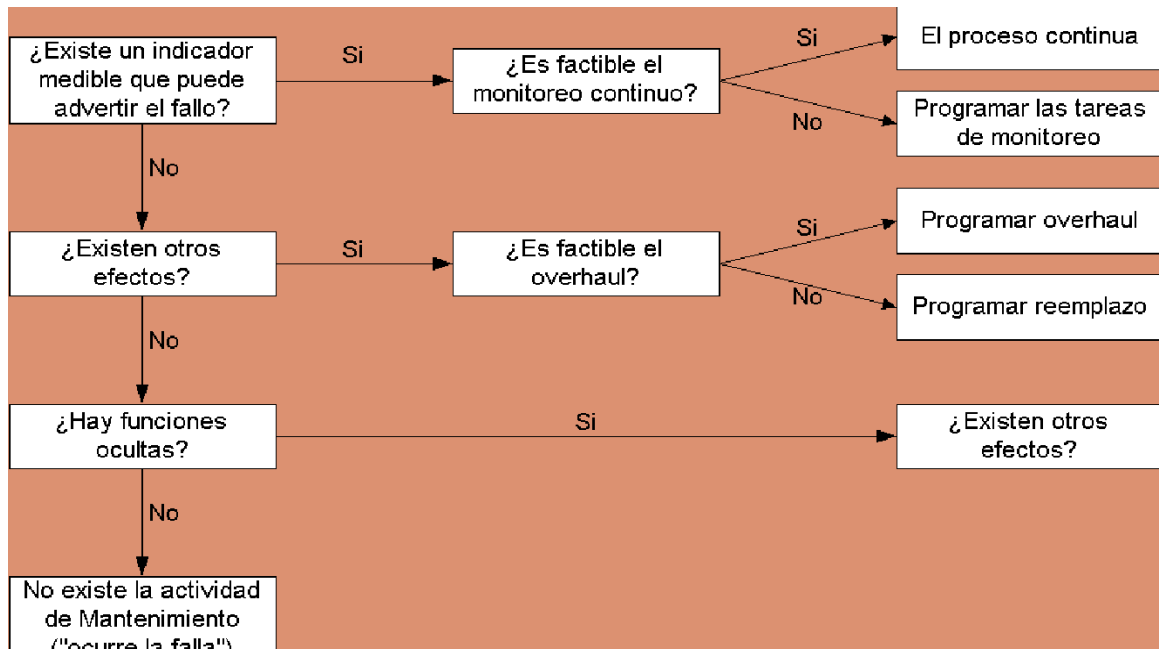
¹⁰ MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. RCM fase 2: determinación de fallos funcionales y fallos técnicos. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/30-rcm?start=6>

2.3.3.1 Histórico de averías. El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado donde aporta una información esencial para la identificación de fallos.

2.3.3.2 Personal de mantenimiento. Siempre es conveniente tener conversaciones con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM. Como se mostrará en el apartado correspondiente, la falta de implicación del personal de mantenimiento será una dificultad para su puesta en marcha del plan de mantenimiento resultante.

2.3.3.3 Diagramas lógicos y diagramas funcionales. Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndose o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas condiciones.

Figura 7. Diagrama funcional de falla.



Fuente: plan de implementación general del RCM. Principales análisis del RCM. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml?relacionados>

2.3.4 Determinación de los modos de fallo¹¹. Se puede definir ‘modo de fallo’ como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina ‘causas raíces’. No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el estudio sea abordable, sea técnicamente factible. Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, se perderá una parte de la información valiosa, pero a cambio, se obtendrá realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable.

2.3.5 Análisis de la gravedad de los fallos (criticidad)¹². La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, ¿qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, se estará en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento, Considerando tres posibles casos: que el fallo sea crítico, importante o tolerable.

Para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medio ambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- Que suponga una parada de planta, donde se vea afectado el rendimiento o a la capacidad de producción.
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios), sea superior a cierta cantidad.

¹¹ MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. RCM fase 3 Determinación de los modos de fallo. [En línea]. (recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/30-rcm?start=6>

¹² RCM3. Fase 4: 5 Análisis de la gravedad de los fallos. [En línea]. (recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/127>

Para que un fallo sea importante, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico.
- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja.
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que la probabilidad de que ocurra sea baja.
- Que el costo de reparación sea medio.

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medio ambiente, que no afecte a la producción de la planta y tenga un costo de reparación bajo.

Figura 8. Matriz de riesgo de los equipos.

OCURRENCIA		NIVEL DE RIESGO					
Constante	10	10	20	40	60	80	100
Frecuente	8	8	16	32	64	64	80
Moderado	6	6	12	24	36	48	60
Ocasional	4	4	8	16	32	32	40
Remoto	2	2	4	8	16	16	20
Improbable	1	1	2	4	6	8	10
		1	2	4	6	8	10
		Insignificante	Marginal	Grave	Crítico	Desastroso	Catastrófico
		CONSECUENCIA					

CRITERIO	ACEPTABILIDAD
Aceptable	Hasta 5 %
Tolerable	Del 5 % al 15%
Inaceptable	Del 15% al 35%
Inadmisible	Más del 35%

Fuente: guía práctica RCM. Ortiz Ruiz consultores S.A.S.

2.3.6 Determinación de medidas preventivas. Determinados y posteriormente clasificados según su criticidad estos modos de falla del sistema que se analiza, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo y minimizar sus efectos. Sabiendo que este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son:

- Tareas de mantenimiento.
- Formación del personal.
- Modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento.

La idea principal es tomar medidas de tareas de mantenimiento y para ello se tendrá un listado de tareas que se realiza para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

- Tipo 1: Inspecciones visuales.
- Tipo 2: Lubricación.
- Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo.
- Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo; realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, tacómetros, vibrómetros, ó con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, termografías, análisis de la curva de arranque de motores, etc.
- Tipo 5: Tareas condicionales. Limpiezas, si el equipo da muestras de encontrarse sucio. Ajustes, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros.
- Tipo 6: Tareas sistemáticas. Limpiezas, ajustes, sustitución de piezas.
- Tipo 7: Grandes revisiones, también llamados Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time, que tienen como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

2.3.7 Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas¹³. Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos para facilitar su implementación. El resultado de esta agrupación será:

- Plan de Mantenimiento. Es inicialmente el principal objetivo. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos.
- Lista de mejoras técnicas a implementar. Tras el estudio, se tendrá un listado de mejoras y modificaciones que son conveniente realizar en la instalación.
- Lista de procedimientos de operación y mantenimiento a modificar. Se generará una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos.

¹³ RCM3. Fase 5: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas. [En línea]. (recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/las-medidas-preventivas>

2.3.8 Puesta en marcha de las medidas preventivas obtenidas. Después del estudio de RCM se obtendrá una serie de medidas preventivas, entre las que destaca el Plan de Mantenimiento a desarrollar en la instalación. Pero una vez obtenidas todas estas medidas y agrupadas de forma operativa, es necesario implementarlas. Determinado el nuevo plan de mantenimiento, hay que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Es conveniente revisarlo una vez más, por si se hubieran olvidado tareas. Sobre todo, es necesario comprobar que las tareas recomendadas por los fabricantes han sido tenidas en cuenta, para asegurar que no se olvide en el nuevo plan ninguna tarea importante.

2.3.8.1 Puesta en marcha de las acciones formativas. Para implementar las acciones formativas determinadas en el análisis, no hay más que incluirlas en el Plan de Formación de la planta. La gran diferencia entre las acciones formativas propuestas por el RCM y la mayoría de las que suelen formar parte de los planes de formación suele ser que los propuestos por el RCM tiene como objetivo la solución a problemas tangibles, y por tanto, se traducen rápidamente en una mejora de los resultados.

2.3.8.2 Diferencias entre un plan de mantenimiento inicial y uno obtenido mediante RCM. Comparando el plan inicial, basado sobre todo en las recomendaciones de los fabricantes con el nuevo, basado en el análisis de fallos, habrá diferencias notables. En algunos casos habrá nuevas tareas de mantenimiento, allí donde el fabricante no consideró necesaria ninguna tarea; en otros casos, se habrán eliminado algunas de las tareas por establecer que los fallos que trataban de evitar son perfectamente asumibles.

El plan de mantenimiento inicial está basado en las recomendaciones de los fabricantes, más aportaciones puntuales de tareas propuestas por los responsables de mantenimiento en base a su experiencia, completadas con las exigencias legales de mantenimiento de determinados equipos.

Figura 9. Plan de mantenimiento inicial.



Fuente: rcm3, diagrama de flujo para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/118>

El Mantenimiento Centrado en confiabilidad o RCM va más allá. Tras el estudio de fallos, no sólo se obtendrá un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento.

Figura 10. Plan de mantenimiento RCM.



Fuente: rcm3, diagrama de flujo de la elaboración de un plan de mantenimiento basado en el análisis de fallos. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/118>

2.3.9 Aplicación del proceso RCM. El proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) se inicia con un registro de la planta, respetando los niveles de jerarquía de los sistemas, subsistemas, equipos. Seguidamente se planea y se buscan los recursos requeridos, este proceso de transición del mantenimiento centrado en confiabilidad debe ser auditado por las personas aptas para comprender las decisiones tomadas y aprobarlas.

Figura 11. Grupo de revisión RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad.2004

3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La PTAR hace parte del macro proceso de Manufactura, apoya el proceso de elaboración de la cerveza, refajos y bebidas de malta, proveyendo servicios industriales. Esta planta tiene como principal objetivo de asegurar la eficacia y el control de las etapas de tratamiento para el manejo de los vertimientos industriales hacia el río Suratá.

Figura 12. Planta de tratamiento de aguas residuales.



3.1 PROCESO DE LA PTAR¹⁴

BAVARIA S.A en la Cervecería de Bucaramanga, cuenta con una planta de

¹⁴ CARRILLO, Ivonne tatiana. Mejoramiento y estandarización de los procedimientos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Bavaria s.a. a través de los sop. Trabajo de grado Ingeniera industrial. Bucaramanga.: Universidad industrial de santander.

tratamiento de vertimientos de tipo Anaeróbico y aeróbico de flujo ascendente y manto de Lodos, con recirculación interna.

La tecnología instalada está diseñada para tratar agua de alta tasa de agentes contaminantes en un medio sin oxígeno con una capacidad de tratamiento de $60m^3/h$, donde finalmente la materia orgánica es transformada a gas metano, gas carbónico y agua; compuestos oxidados a la forma más mínima. Las demás unidades presentes en el proceso soportan la operación de tratamiento del bioreactor donde ocurre la mayor parte de degradación de la materia orgánica.

El proceso de la PTAR comienza con la generación de agua residual de las diferentes áreas de la cervecería. El proceso cuenta con un pretratamiento, tratamiento primario, uno secundario y uno terciario de tipo aeróbico con reactores MBBR, mediante los cuales se disminuye la carga contaminante del agua y a la vez permite la generación de $120m^3/h$ de Biogás el cual es usado en una caldera (caldera 4), como energía renovable.

3.1.1 Pre tratamiento. El tratamiento primario se desarrolla en dos fases, primero en la unidad de bombeo inicial para el agua residual proveniente de envase y como segunda fase a través del tamizado en la PTAR. En la unidad de bombeo inicial, el agua residual ingresa por gravedad a la caja receptora y a dos rejillas de desbaste grueso como unidades auxiliares; cuando la caja rebosa su capacidad, estas actúan como unidad preliminar para la retención de sólidos gruesos. Posteriormente para al tamiz rotatorio de bombeo inicial, que separa sólidos más finos. A la salida de éste se encuentra el tanque de almacenamiento de bombeo inicial, el afluente a la PTAR entra a una unidad de aforo o canaleta de recepción donde se miden los parámetros de entradas. El agua es sometida al proceso de retención de sólidos finos a través de un tamiz rotatorio. En este punto han retirado la mayor parte de los sólidos suspendidos.

Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de estudios industriales y empresariales, 2012. 116 p.

3.1.2 Tratamiento Primario

- **Nivelación de condiciones e Hidrólisis:** el caudal ingresa al proceso pasando a través de la canaleta de entrada con lector de caudal, pH y temperatura. El caudal entra inicialmente al tanque de igualación para su homogeneización, a través de un agitador automático que homogeniza el agua. En esta etapa del proceso ocurre el proceso enzimático de hidrólisis, el cual consiste en el desdoblamiento de cadenas largas en cadenas más asimilables para siguiente proceso.
- **Proceso de Acidificación:** en esta unidad ocurre un proceso facultativo en el cual el agua está en un tiempo de retención para que ocurra la formación de ácido acético y los otros ácidos volátiles de cadena corta que constituyen la forma asimilable de la carga orgánica para las bacterias metano génicas presentes en el reactor. El ácido acético constituye el sustrato a partir del cual proviene el 70% del total del biogás producido. El ácido acético y los otros ácidos orgánicos, junto con el gas carbónico y las moléculas de hidrógeno son el alimento de las bacterias metanogénicas. De esta manera el agua está lista para ser enviada a los reactores anaeróbicos.

3.1.3 Tratamiento Secundario

- **Proceso metanogénico:** un reactor contiene el lodo granular responsable de la degradación anaeróbica de la materia orgánica y una recirculación interna para disminuir los riesgos de choque térmico, de carga y pH del afluente. El agua es alimentada por la base del reactor y entra inmediatamente en contacto con el lodo generando el biogás correspondiente. El biogás es desplazado hacia el tanque desgasificador y es transportado hacia los gasómetros, los cuales actúan como colchón de biogás para posteriormente ser utilizados como fuente de energía renovable.

- **Proceso de Oxidación de Sulfuros:** este tanque posee difusores localizados en su base que suministra el aire necesario para la oxidación, y a su vez trabajan como una unidad adicional de tratamiento aerobio. El agua abandona el tanque de oxidación por rebose.
- **Proceso de Sedimentación y deshidratación de lodos:** el proceso de tratamiento secundario finaliza con el tanque de sedimentación donde se retiran la mayor parte de los sólidos suspendidos contenidos en el agua. Los lodos son decantados en el sedimentador a través del barredor de lodos y transportados a un vaso comunicante donde se bombean para deshidratarse y darles su debida disposición final. El agua clarificada es aforada a la canaleta Parshall de salida a través del rebose, cumpliendo con los parámetros exigidos por la legislación Ambiental¹⁵.

¹⁵ COLOMBIA. MINAMBIENTE. Decreto 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Figura 13. Proceso planta de tratamiento de aguas residuales.



3.2 NORMA AMBIENTAL

Los vertimientos de la PTAR de la cervecería Bavaria Bucaramanga están limitados por los valores dados por la siguiente figura, correspondiente al artículo 12 de la resolución N° 0631 del ministerio de ambiente y desarrollo¹⁶, el cual rige los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, al igual se establece los parámetros objeto de análisis por parte de las autoridades ambientales

¹⁶ COLOMBIA. MINAMBIENTE. Decreto 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Figura 14. Parámetros de vertimiento del sector elaboración de bebidas

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	600,00	200,00	200,00	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	400,00	100,00	100,00	200,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00	1,00	2,00	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00	10,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amónico (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,50	0,20		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00		250,00	600,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250,00		250,00	500,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L				
Metales y Metaloides					
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05	0,05		
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01		
Niquel (Ni)	mg/L	0,50			
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente: MINAMBIENTE, resolución 0631.

Figura 15. Parámetros objeto de análisis

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente: MINAMBIENTE, resolución 0631.

4. DEPARTAMENTO DE SERVICIOS INDUSTRIALES

La función principal y más importante de este departamento de la planta es el de suministrar los servicios básicos para la producción de los diferentes productos que ofrece la empresa.

Figura 16. Área de servicios industriales, sector de calderas.



Los servicios que suministra esta área son los siguientes:

- Generación de vapor.
- Generación de aire comprimido.
- Sistema de refrigeración con amoniaco.
- Sistema de recuperación y purificación de CO₂.

A continuación se va a especificar la función de cada área:

4.1 SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.

En este sistema se genera vapor para tres sectores fundamentales de la empresa, los cuales son cocinas, envase y filtración.

En cocinas el objetivo es cocinar una mezcla que se llama mosto. Esta mezcla es a base de arroz, lúpulo, cebada, malta y agua, es el primer estado de la cerveza antes de la fermentación y se utiliza el vapor para calentar este mosto a las condiciones deseadas, el consumo en esta dependencia oscila entre 10000 y 14000 lb/hora.

En el envase se utiliza el vapor para la limpieza de las botellas en los dos trenes de envasado que existen y para la pasteurización de la cerveza embotellada, el consumo de vapor está entre 5000 y 7000 kg/hora.

En filtración se utiliza el vapor para filtrar la cerveza de impurezas las cuales afectan la calidad de ésta, el consumo oscila entre 1000 y 1100 lb/hora.

Esta área consta de cuatro calderas (2 acuotubulares y 2 pirotubulares), que son las encargadas de generar el vapor en la planta, consta de un tanque de condensados y un tanque desairador, aparte de sistemas de recuperación de energía como lo son los economizadores para cada caldera.

4.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

La carga normal que se maneja en el sistema es de 700 a 800 Toneladas de refrigeración. Cuando se necesita amoniaco para el enfriador de trasiego la carga puede aumentar hasta 1050 toneladas de refrigeración.

Según esto ante una demanda máxima de amoniaco el sistema debe ser capaz de responder, trabajando con dos compresores (el principal y el modulante a su máxima capacidad) y con todos los condensadores.

La capacidad de cada compresor de amoniaco en Toneladas de refrigeración:

Compresor 1: 436 Ton/h

Compresor 2: 436 Ton/h

Compresor 3: 436 Ton/h

Compresor 4: 315 Ton/h

Compresor 5: 315 Ton/h

Capacidad combinada de los seis condensadores evaporativos es de 1938 Toneladas de Refrigeración.

Figura 17. Área de servicios industriales, sector de refrigeración



4.3 SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y PURIFICACIÓN DE CO₂.

La tarea principal de la planta de recolección y purificación de CO₂ (este componente es recolectado del proceso de fermentación siendo un subproducto obtenido a partir de este proceso) es la de asegurar que el CO₂ que es enviado a proceso cuente con una pureza mayor o igual al 99.99%, Entiéndase por CO₂ puro al que se encuentra libre de oxígeno [contenido de O₂< 11 ppm].

La capacidad combinada de los 3 boosters (recolectores de CO₂) es de 1950

Kg/H y la producción de CO₂ instantánea tiene el siguiente comportamiento histórico:

Máximo: 1000 [Kg/h]

Mínimo: 500 [Kg/h]

Promedio: 100 [Kg/h]

La producción es mucho menor que la capacidad de los boosters, pero los tres pueden estar funcionando al tiempo por dos de las siguientes razones:

- El control de los boosters se hace por presión en los unitanques y no por flujo másico.
- El Booster número tres se opera en modo manual.
- Como en la mayoría de los casos solo se está utilizando uno o dos boosters, el consumo de CO₂ tiene las características que se enunciaron anteriormente.

Figura 18. Sistema de purificación del CO₂



4.4 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

La función de este sistema es entregar 1400 cfm(pies cúbicos por minuto) de aire a 90 psig, para ser utilizado en los equipos de instrumentación que cumplen el papel de actuadores, para regular las variables de cada uno de los procesos.

Este sistema consta de 5 compresores de diferentes capacidades, para poder completar la carga que se necesite en el momento por lo general trabajan solo 2 compresores y el resto se encuentran en modo de reserva, además de un tanque colchón que soporta los transitorios de los consumos y dos intercambiadores de calor que mejoran la eficiencia del sistema.

Figura 19. Compresor nirvana.



5. CALIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

La calificación de los equipos en el desarrollo de este proyecto se hace mediante dos métodos; uno de ellos es la calificación por un diagrama de flujo proporcionado por la empresa Bavaria S.A y el segundo es mediante un análisis de Pareto en el cual muestra los equipos críticos con su principio del 80-20.

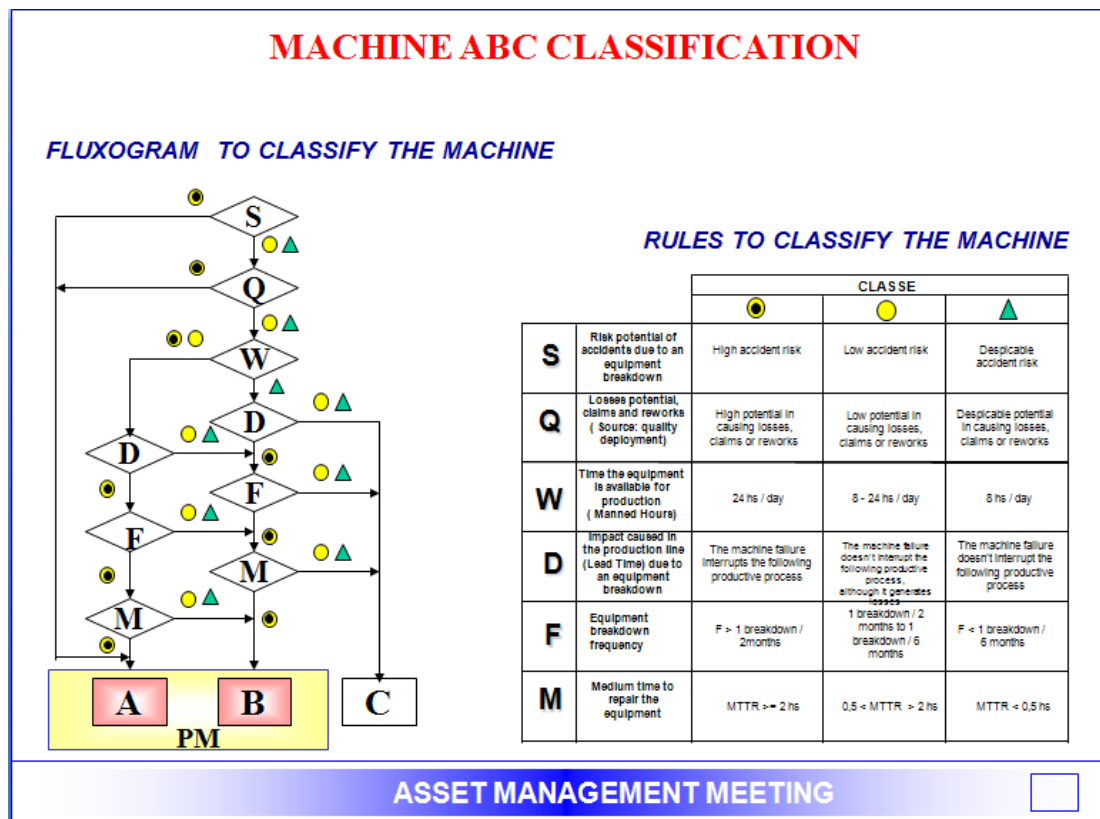
5.1 CALIFICACIÓN MEDIANTE DIAGRAMA DE FLUJO

En el diagrama de flujo suministrado por la cervecería Bavaria Bucaramanga, se tienen en cuenta para la calificación de la criticidad seis parámetros, los cuales están representados por una letra y significan los riesgos a los que están expuestos los equipos. La representación de los parámetros se hacen por medio de letras de la siguiente manera:

- **S**: riesgo potencial de accidente debido a paradas del equipo.
- **Q**: pérdida de potencia en arranque y calidad.
- **W**: tiempo disponible del equipo para la producción.
- **D**: impacto causado en la línea de producción (tiempo muerto) debido a averías.
- **F**: frecuencia de averías en los equipos.
- **M**: tiempo medio de reparación del equipo.

En la figura 21, se muestra la forma de la calificación de la criticidad teniendo en cuenta los anteriores parámetros, donde se obtienen los equipos con calificaciones críticas representados con las letras **A** y **B**, y donde la letra **C** significa que la criticidad del equipo es muy baja la cual no representa un riesgo para la producción y seguridad de la empresa. En el presente proyecto se toman en cuenta los equipos con criticidad **A**, los cuales representan el mayor riesgo para la producción, calidad y seguridad de operación en la empresa.

Figura 20. Diagrama de flujo para la calificación de equipos.



Fuente: Cervecería Bavaria Bucaramanga.

5.1.1 Proceso de calificación mediante el diagrama de flujo. El proceso empieza con un listado de equipos proporcionados por la cervecería Bavaria Bucaramanga, los cuales se pueden encontrar en el anexo A.

Tomando como base el diagrama de flujo de la figura 21 se realiza la calificación del listado de equipos que la cervecería proporcionó, además a esto suministro un formato en Excel en el cual se realiza la calificación de una manera más ágil que se explica de manera detallada más adelante.

5.1.2 Hoja de cálculo Excel. En la hoja de cálculo se tiene el listado de equipos para ser calificados por el diagrama de flujo, el cual mediante la programación de los cuadros de la hoja de Excel se puede saber la calificación del equipo, y si este se encuentra en la calificación A se considera para pasar a la siguiente calificación y así obtener los equipos a los que se le desarrollara la metodología RCM.

5.1.3 Detalle del proceso de calificación. La calificación se obtiene llenando las columnas de la tabla 1 S, Q, W, D, F, M, correspondientes a los criterios de calificación, con las letras D, L, H las cuales corresponden al nivel de calificación.

Criterios de calificación:

S: Riesgo potenciales de accidente debido a una avería del equipo.

Q: Pérdida potencial, reclamación y reproceso.

W: Tiempo del equipo disponible para producción (Horas producción).

D: Impacto causado en la producción (lead time) debido a una avería del equipo.

F: Frecuencia de avería en el equipo.

M: MTTR Paradas frecuentes graves para cierto proceso.

Niveles de calificación:

(H) ALTO

(L) BAJO

(D) DESPRECIABLE

Luego de llenar la hoja de cálculo del anexo A, se obtiene la tabla 1 en la que muestra los equipos con calificación A.

Tabla 1. Equipos críticos según el diagrama de flujo.

Denominación	Indicador ABC	Indicador					
		S	Q	W	D	F	M
RED DE AGUA CALDERAS	A	L	H	H	L	H	H
CALDERA 1	A	H	L	H	L	H	H
CALDERA 4(BIOGÁS)	A	H	L	H	L	H	H
POSTENFRIADOR DE CO2 CON NH3	A	H	L	H	H	L	H
TORRE DE ODORIZADORA 1	A	L	L	H	H	H	H
TORRE DE ODORIZADORA 2	A	L	L	H	H	H	H
CONDENSADOR DE CO2 1	A	H	L	H	D	L	H
CONDENSADOR DE CO2 2	A	H	L	H	D	L	H
CONDENSADOR EVAPORATIVO CO2 CON NH3 2	A	L	H	H	L	L	H
DESHIDRATADOR DE AMONIACO	A	L	H	H	L	L	L
SEPARADOR DE ACEITE SEGUNDA ETAPA	A	L	L	H	H	H	H
SEPARADOR DE ACEITE SEGUNDA ETAPA	A	L	L	H	H	H	H
COMPRESOR DE AMONIACO 1	A	H	L	H	L	L	H
SUBESTACIÓN DE GAS NATURAL	A	H	L	H	L	D	H
CALDERA 5	A	H	L	H	L	H	H
SISTEMA PROTECCIÓN SUBESTACIONES	A	L	H	H	L	D	L
PURIFICADOR DE CO2	A	L	H	H	L	H	L
RED ENERGÍA ELÉCTRICA RECUPERACIÓN CO2	A	L	H	H	H	L	H
CONDENSADOR EVAPORATIVO CO2 CON NH3 1	A	L	H	H	L	L	H
COMPRESOR AIRE NIRVANA 800 CFM	A	H	L	H	L	L	H
COMPRESOR DE AMONIACO 2	A	H	L	H	L	L	H
TANQUE ACUMULADOR AMONIACO DE ALTA No. 1	A	L	H	H	D	L	H
TANQUE ACUMULADOR AMONIACO DE BAJA No. 1	A	L	H	H	L	L	L
TANQUE ACUMULADOR AMONIACO DE BAJA No. 2	A	L	H	H	D	L	L
COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 4	A	L	H	H	L	L	L
COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 5	A	L	H	H	L	L	L
TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO	A	H	L	H	H	H	L
TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO 21 TON	A	H	L	H	H	H	L
CLARIFICADOR TIPO DAF	A	L	H	H	H	H	L
FILTRO BANDA	A	L	H	H	H	H	L
REACTOR ANAEROBIO 1	A	L	H	H	H	H	L
REACTOR ANAEROBIO 2	A	L	H	H	H	H	L
REACTOR ANAEROBIO 3	A	L	H	H	H	D	L
SIST DOSIFICACIÓN QUÍMICOS FILTRO BANDA	A	L	H	H	H	L	D
SIST DOSIFICACIÓN QUÍMICOS DAF	A	L	H	H	H	D	D
SOPLADOR AERZEN 1	A	L	H	L	H	H	L
SOPLADOR AERZEN 2	A	L	H	L	H	L	L

Tabla 2. Tabla resumen calificación por diagrama de flujo.

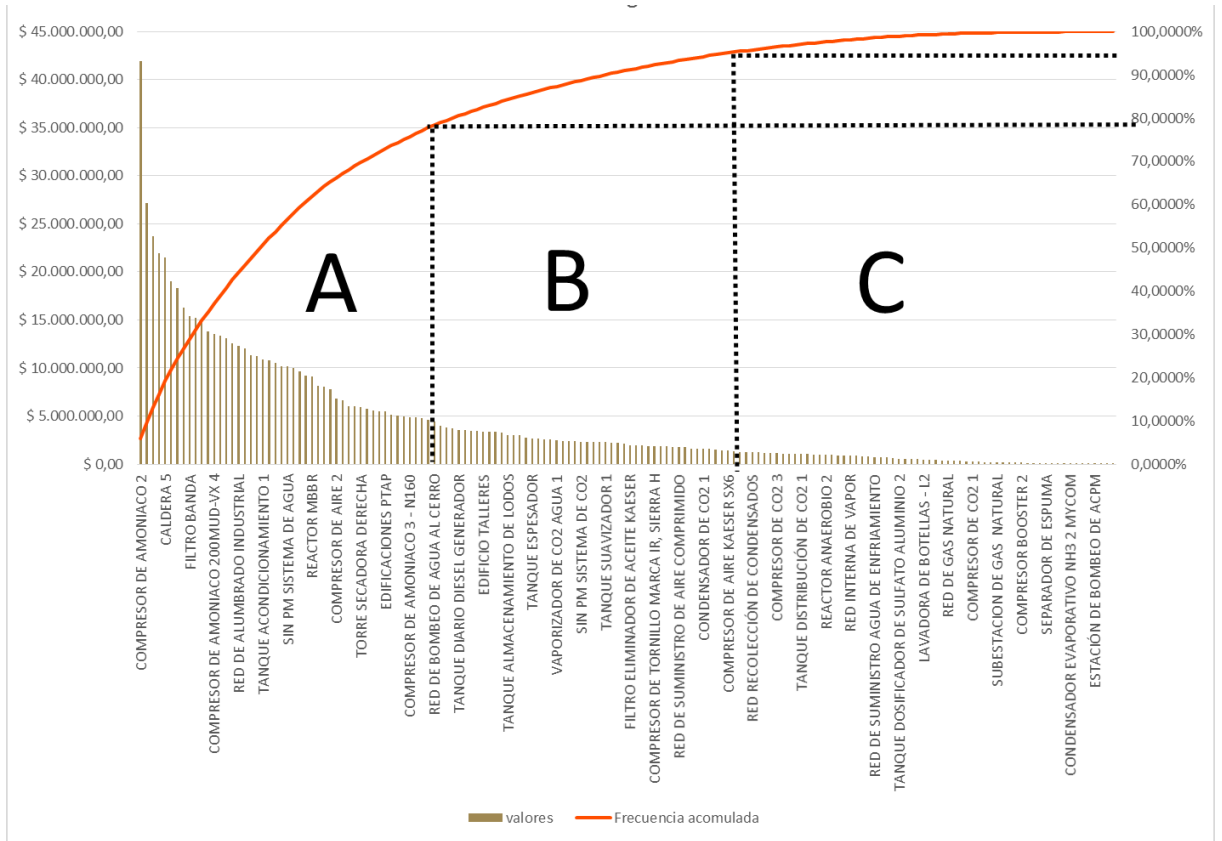
Calificación	Fallas	Frecuencia	Frecuencia acumulada
A	37	19,3%	19,3%
B	82	42,7%	62,0%
C	73	38,0%	100,0%
Total	192		

5.2 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE PARETO

La criticidad mediante el análisis de Pareto se desarrolla para listas de equipos proporcionados por la cervecería Bavaria que corresponden a un contador de fallas por equipo y el costo de mantenimiento anual por equipo, los listados correspondientes se encuentran los anexos B y C, mediante el análisis de Pareto se obtendrán el 20% de los equipos que ocasionan el 80% de los fallos y el 80% de los costos de mantenimiento.

5.2.1 Análisis de Pareto costos de mantenimiento. En este caso en particular el análisis de Pareto sirve para determinar el 20% de los equipos que causan el 80% de los costos de mantenimiento del total del listado de los equipos. En la tabla 4, tabla resumen del análisis de Pareto por costos de mantenimiento se muestra el número de equipos con sus respectivas calificaciones, el listado de equipos analizados se encuentra en el anexo B.

Figura 21. Diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.



5.2.1.1 Hoja de cálculo Excel. En la tabla del anexo B se encuentra el listado de los costos de mantenimiento proporcionados por la cervecera Bavaria, luego de hacer el análisis de Pareto para este listado obtenemos los equipos con la respectiva calificación, en la tabla 3 se muestran los equipos con calificación A.

Tabla 3. Listado de equipos con calificación A.

Valores	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Clasificación	Equipos
\$ 41.957.750	5,92%	5,92%	A	COMPRESOR DE AMONIACO 2
\$ 27.160.804	3,83%	9,75%	A	CLARIFICADOR TIPO DAF
\$ 23.729.564	3,35%	13,10%	A	RED DE CAPTACIÓN AGUA CRUDA DE RIO
\$ 21.924.924	3,09%	16,20%	A	CONSUMIBLES
\$ 21.535.622	3,04%	19,23%	A	CALDERA 5
\$ 19.024.077	2,68%	21,92%	A	PURIFICADOR DE CO2
\$ 18.335.800	2,59%	24,51%	A	CALDERA 2
\$ 16.236.597	2,29%	26,80%	A	RED DE SUMINISTRO ENERGÍA ELÉCTRICA

\$ 15.415.043	2,18%	28,97%	A	FILTRO BANDA
\$ 15.190.551	2,14%	31,12%	A	EDIFICIO DE CALDERAS
\$ 14.792.673	2,09%	33,20%	A	DOSIFICADOR ACIDO CLORHIDRICO
\$ 13.805.572	1,95%	35,15%	A	CALDERA 4
\$ 13.513.631	1,91%	37,06%	A	COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 4
\$ 13.387.080	1,89%	38,95%	A	RED DE BOMBEO LODOS HACIA DECANTADORES
\$ 13.057.135	1,84%	40,79%	A	TANQUE CISTERNA
\$ 12.564.700	1,77%	42,56%	A	EDIFICIO ADMINISTRATIVO
\$ 12.335.900	1,74%	44,30%	A	RED DE ALUMBRADO INDUSTRIAL
\$ 12.004.130	1,69%	46,00%	A	TANQUE ACONDICIONAMIENTO 2
\$ 11.349.961	1,60%	47,60%	A	SIN PM MTTO SERV INDUSTRIAL
\$ 11.221.210	1,58%	49,18%	A	SEPARADOR DE ACEITE SEGUNDA ETAPA
\$ 10.848.006	1,53%	50,71%	A	TANQUE ACONDICIONAMIENTO 1
\$ 10.759.696	1,52%	52,23%	A	TANQUE IGUALACIÓN
\$ 10.486.245	1,48%	53,71%	A	SIN PM GR INGENIERIA Y SERV
\$ 10.214.988	1,44%	55,15%	A	COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 5
\$ 10.212.800	1,44%	56,59%	A	SIN PM SISTEMA DE AGUA
\$ 9.995.140	1,41%	58,00%	A	COMPRESOR DE AMONIACO 3
\$ 9.659.322	1,36%	59,37%	A	SOPLADOR AERZEN 2
\$ 9.169.447	1,29%	60,66%	A	COMPRESOR DE CO2 - 2
\$ 9.129.745	1,29%	61,95%	A	REACTOR MBBR
\$ 8.179.920	1,15%	63,10%	A	RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA PTAP
\$ 8.045.299	1,14%	64,24%	A	RED DE AGUA RESIDUAL
\$ 7.782.239	1,10%	65,34%	A	TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO
\$ 6.805.220	0,96%	66,30%	A	COMPRESOR DE AIRE 2
\$ 6.639.106	0,94%	67,23%	A	COMPRESOR TORNI.INGERSOLL CIERRA 400CFM
\$ 6.036.540	0,85%	68,08%	A	EDIFICIO PLANTA PTAR
\$ 6.034.429	0,85%	68,94%	A	RED DE AGUA CALDERAS
\$ 5.930.000	0,84%	69,77%	A	TORRE SECADORA DERECHA
\$ 5.736.209	0,81%	70,58%	A	TANQUE DOSIFICOR DE SULFATO ALUMINIO 1
\$ 5.533.640	0,78%	71,36%	A	COMPRESOR TORNI.INGERSOLL NIRVANA 800 CFM
\$ 5.489.969	0,77%	72,14%	A	COMPRESOR DE CO2 - 4
\$ 5.469.442	0,77%	72,91%	A	EDIFICACIONES PTAP
\$ 5.089.999	0,72%	73,63%	A	TANQUE DE AGUA TRATADA 1
\$ 5.057.891	0,71%	74,34%	A	LAVADORA DE BOTELLAS - L1
\$ 4.997.677	0,71%	75,05%	A	COMPRESOR KAESER BSD 60
\$ 4.874.210	0,69%	75,73%	A	COMPRESOR DE AMONIACO 3 - N160
\$ 4.873.783	0,69%	76,42%	A	REACTOR ANAEROBIO 1

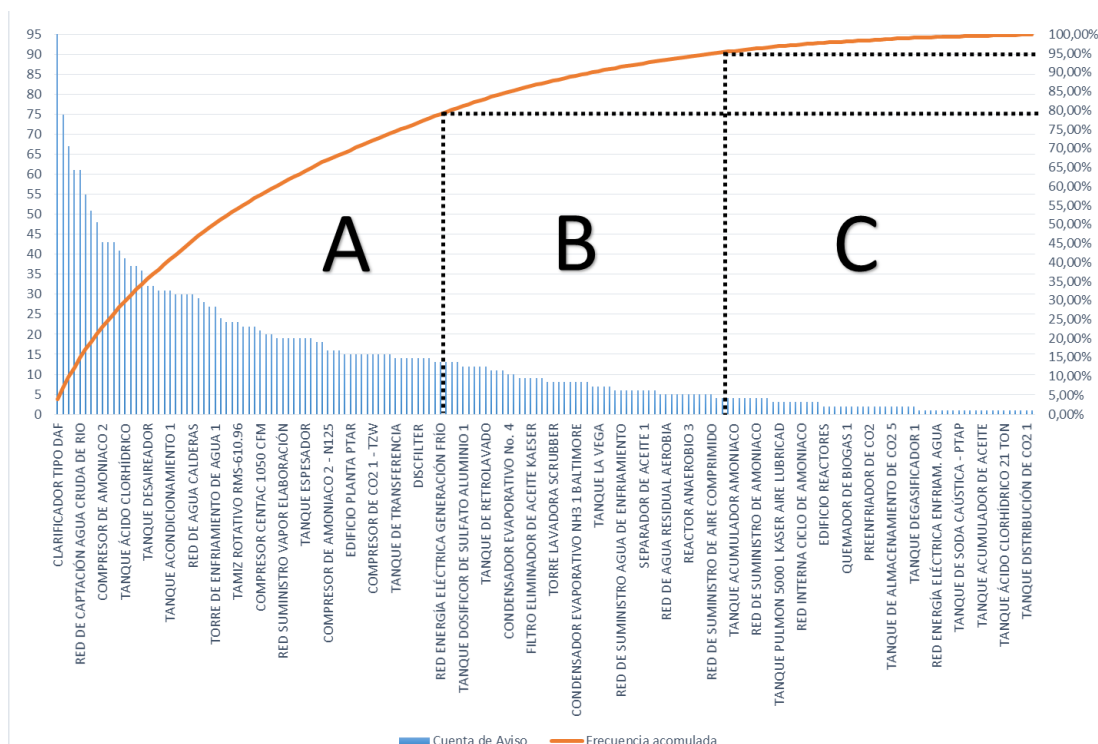
\$ 4.789.000	0,68%	77,10%	A	SIN PM PLANTA AGUA RESIDUAL
\$ 4.600.120	0,65%	77,75%	A	TANQUE DE TRANSFERENCIA
\$ 4.437.813	0,63%	78,37%	A	RED DE BOMBEO DE AGUA AL CERRO
\$ 4.005.460	0,57%	78,94%	A	TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA 1
\$ 3.850.212	0,54%	79,48%	A	TANQUE SEDIMENTADOR
\$ 3.721.000	0,53%	80,01%	A	TANQUE DE OXIDACIÓN DE SULFUROS

Tabla 4. Tabla resumen diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.

Análisis de Pareto					
Participación	Clasificación	#	Participación #	Costos	participación costos
0%-80%	A	52	33%	566997288	80%
81%-95%	B	47	29%	109436316	15%
96%-100%	C	61	38%	32252006	5%
	TOTAL	160	100%	708685610	100%

5.2.2 Análisis de Pareto fallas de equipos. En este caso el análisis de Pareto determina el 20% de los equipos que causan el 80% de las fallas del total de los equipos. En la tabla 6, tabla resumen del análisis de Pareto por fallas de equipo se muestra el número de equipos con sus respectivas calificaciones, el listado de equipos totales analizados se encuentra en el anexo C.

Figura 22. Diagrama de Pareto por costos de mantenimiento.



5.2.2.1 Hoja de cálculo Excel. En la tabla del anexo C se encuentra el listado con las fallas de cada uno de los equipos proporcionados por la cervecería Bavaria, luego de hacer el análisis de Pareto para este listado se obtienen los equipos con la respectiva calificación, en la tabla 5 se muestran los equipos con calificación A.

Tabla 5. Listado de equipos con calificación A.

Etiquetas de fila	Cuenta de Aviso	Frecuencia acumulada	Clasificación
CLARIFICADOR TIPO DAF	95	3,92%	A
CALDERA 5	75	7,01%	A
COMPRESOR DE CO2 - 4	67	9,77%	A
FILTRO BANDA	61	12,29%	A
RED DE CAPTACIÓN AGUA CRUDA DEL RÍO	61	14,80%	A
RED DE BOMBEO DE AGUA AL CERRO	55	17,07%	A
TANQUE ACONDICIONAMIENTO 2	51	19,18%	A
CALDERA 4	48	21,15%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 2	43	22,93%	A

EDIFICACIONES PTAP	43	24,70%	A
TANQUE DOSIFICADOR HIPOCLORITO DE SODIO	43	26,47%	A
COMPRESOR DE CO2 3 - WITTEMANN	41	28,16%	A
TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO	39	29,77%	A
DOSIFICADOR DE POLÍMERO COAGULANTE	37	31,30%	A
TANQUE SEDIMENTADOR	37	32,82%	A
TANQUE DE AGUA TRATADA 1	36	34,31%	A
TANQUE DESAIREADOR	32	35,63%	A
TANQUE IGUALACIÓN	32	36,95%	A
RED DE BOMBEO LODOS HACIA DECANTADORES	31	38,23%	A
COMPRESOR NIRVANA 800	31	39,51%	A
TANQUE ACONDICIONAMIENTO 1	31	40,78%	A
CALDERA 1	30	42,02%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 5	30	43,26%	A
COMPRESOR DE CO2 2 - JOY	30	44,49%	A
RED DE AGUA CALDERAS	30	45,73%	A
DOSIFICADOR ACIDO CLORHIDRICO	29	46,93%	A
TANQUE CISTERNA	28	48,08%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 200 MUD-VX 4	27	49,20%	A
TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA 1	27	50,31%	A
SOPLADOR AERZEN 1	24	51,30%	A
TANQUE POLÍMERO COAGULANTE	23	52,25%	A
RED DOSIFICACIÓN QUÍMICOS	23	53,20%	A
TAMIZ ROTATIVO RMS-610.96	23	54,14%	A
PURIFICADOR DE CO2	22	55,05%	A
REACTOR ANAEROBIO 2	22	55,96%	A
TANQUE DE AGUA TRATADA 2	22	56,87%	A
COMPRESOR CENTAC 1050 CFM	21	57,73%	A
COMPRESOR SIERRA 300	20	58,56%	A
COMPRESOR KAESER BSD 600	20	59,38%	A
REACTOR ANAEROBIO 1	19	60,16%	A
RED SUMINISTRO VAPOR ELABORACION	19	60,95%	A
RED DE AGUA POTABLE PTAP	19	61,73%	A
RED DE BIOGÁS	19	62,52%	A
COMPRESOR SIERRA 400	19	63,30%	A
TANQUE ESPESADOR	19	64,08%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 1 - FRICK	19	64,87%	A
REACTOR MBBR	18	65,61%	A
CONDENSADOR EVAPORATIVO 3	18	66,35%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 2 - N125	16	67,01%	A
RED INTERNA DE VAPOR	16	67,67%	A
RED RECOLECCIÓN DE CONDENSADOS	16	68,33%	A
TANQUE DE OXIDACIÓN DE SULFUROS	15	68,95%	A

EDIFICIO PLANTA PTAR	15	69,57%	A
CONDENSADOR EVAPORATIVO 2	15	70,19%	A
FILTRO DE ARENA RÁPIDO DE GRAVEDAD 2	15	70,80%	A
TORRE SECADORA IZQUIERDA	15	71,42%	A
COMPRESOR DE CO2 1 - TZW	15	72,04%	A
CONDENSADOR EVAPORATIVO No. 1	15	72,66%	A
RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA PTAP	15	73,28%	A
RED DE LODOS	15	73,90%	A
TANQUE DE TRANSFERENCIA	14	74,47%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 3 - N160	14	75,05%	A
SOPLADOR DE AIRE MARCA KAESER 1	14	75,63%	A
TANQUE SUAVIZADOR 1	14	76,21%	A
DISCFILTER	14	76,78%	A
COMPRESOR DE AMONIACO 1	14	77,36%	A
RED DE SUMINISTRO DE CO2	14	77,94%	A
SOPLADOR AERZEN 2	13	78,47%	A
RED ENERGÍA ELÉCTRICA GENERACIÓN FRÍO	13	79,01%	A
RED ENERGÍA ELÉCTRICA PTAR	13	79,55%	A
FILTRO DE ARENA RÁPIDO DE GRAVEDAD 1	13	80,08%	A
RED ENERGÍA ELÉCTRICA RECUPERACIÓN CO2	13	80,62%	A

Tabla 6. Tabla resumen diagrama de Pareto por fallas de equipos.

Tabla análisis de Pareto					
Participación estimada	Clasificación	#	Participación #	Avisos	Participación avisos
0%-80%	A	72	41,38%	1955	80,62%
81%-95%	B	48	27,59%	360	14,85%
96%-100%	C	54	31,03%	110	4,54%
	TOTAL	174	100,00%	2425	100,00%

5.3 INTERSECCIÓN DE EQUIPOS EN LOS TRES LISTADOS

Debido a la cantidad de equipos que arroja cada análisis de criticidad en los tres listados que se estudia (Listado de conteo de fallas, Listado de costo de mantenimiento, diagrama de flujo de equipos); se procede a hacer dos intersecciones con ayuda de software Excel, donde con la función formato condicional/ nueva regla/ aplicar formato únicamente a los valores únicos o duplicados, como lo muestran las siguientes figuras.

Figura 23. Paso 1 para la intersección de las tablas de equipos críticos.

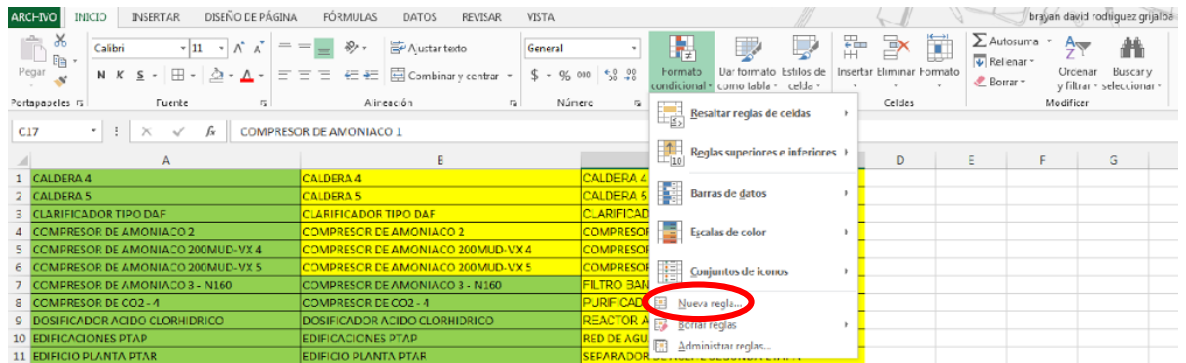
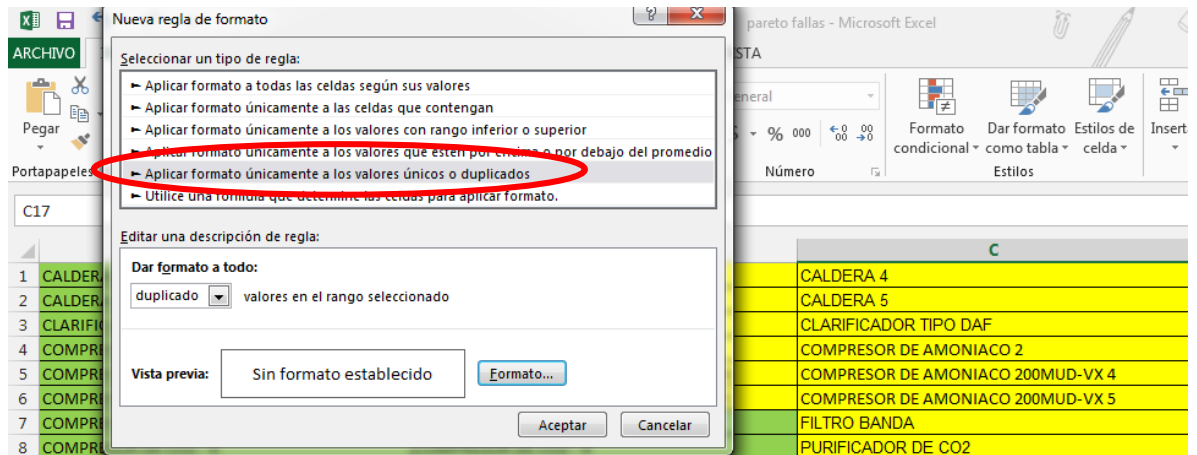


Figura 24. Paso 2 para la intersección de las tablas de equipos críticos.



- La primera intersección involucra el listado criticidad mediante el diagrama de flujo (tabla 1) y el listado de criticidad de costos de mantenimiento (tabla 3), dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 7. Primera intersección de los equipos críticos.

CALDERA 4 (BIOGAS)	RED DE AGUA CALDERAS
CALDERA 5	RED DE BOMBEO DE AGUA AL CERRO
CLARIFICADOR TIPO DAF	RED DE BOMBEO LODOS HACIA DECANTADORES
COMPRESOR AIRE NIRVANA 800 CFM	RED DE CAPTACIÓN AGUA CRUDA DE RIO
COMPRESOR DE AMONIACO 2	RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA PTAP
COMPRESOR DE AMONIACO 200MUD-VX 4	SOPLADOR AERZEN 2
COMPRESOR DE AMONIACO 200MUD-VX 5	TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO
COMPRESOR DE AMONIACO 3 - N160	TANQUE ACONDICIONAMIENTO 1
COMPRESOR DE CO2 - 4	TANQUE ACONDICIONAMIENTO 2
DOSIFICADOR ACIDO CLORHIDRICO	TANQUE CISTERNA
EDIFICACIONES PTAP	TANQUE DE AGUA TRATADA 1
EDIFICIO PLANTA PTAR	TANQUE DE OXIDACIÓN DE SULFUROS
FILTRO BANDA	TANQUE DE TRANSFERENCIA
PURIFICADOR DE CO2	TANQUE IGUALACIÓN
REACTOR ANAEROBIO 1	TANQUE SEDIMENTADOR
REACTOR MBBR	TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA 1

- La segunda intersección se obtiene de la primera intersección de equipos (tabla 7) y el listado de criticidad de fallas por equipos (tabla 5) dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 8. Equipos críticos finales.

CALDERA 4 (BIOGAS)
CALDERA 5
CLARIFICADOR TIPO DAF
COMPRESOR AIRE NIRVANA 800 CFM
COMPRESOR DE AMONIACO 2
COMPRESOR DE AMONIACO 200MUD-VX 4
COMPRESOR DE AMONIACO 200MUD-VX 5
FILTRO BANDA
PURIFICADOR DE CO2
REACTOR ANAEROBIO 1
RED DE AGUA CALDERAS
SOPLADOR AERZEN 2
TANQUE ÁCIDO CLORHÍDRICO

Esta última tabla arroja una cantidad de 13 equipos, los cuales son los equipos más críticos que tienen las áreas de servicios industriales y la planta de tratamiento de aguas residuales; por consiguiente, requieren tener una actualización o implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad.

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCM

En este capítulo se desarrolla la metodología RCM, mostrando el desarrollo de un solo equipo calificado crítico en el capítulo anterior (tabla 8), con el fin de explicar la metodología del RCM, se asume que la metodología es la misma para todos los equipos independientemente de la función que este realice. De esta manera solo se mostrará parte del desarrollo de la caldera 5, el desarrollo completo de este equipo estará en formatos A2 en el anexo P, respecto a los equipos restantes se puede encontrar el resultado final del RCM del anexo D al anexo O.

Como modelo para el desarrollo de la metodología se toma la caldera 5, ya que es uno de los equipos más complejos del listado obtenido en la tabla 8.

Datos de la Caldera:

- Fabricante: VR INGENIERÍA
- Modelo: T-638
- Capacidad: 1000 BHP
- Presión máxima de operación: 150 PSI
- Combustible: Gas natural - ACPM
- Año de fabricación: 2014
- Caldera pirotubular de 4 pasos

6.1 PARTICIÓN DE LOS SISTEMAS

Siguiendo los lineamientos de estructuración jerárquica de la norma ISO 14224¹⁷ se toma la caldera 5, dividiéndose en:

- Sistemas.

¹⁷ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:1999. 1 ed.

- Subsistema.
- Ítem mantenible.
- Componente de detalle.

La caldera 5 se encuentra ubicada en el departamento de servicios industriales, en el sistema de generación de vapor, sus funciones en el proceso de la fabricación de la cerveza se encuentran de manera detallada en la sección 4.1 de este libro, la caldera 5 cuenta con subsistemas como:

- Tren de gas natural
- Tren de acpm
- Tren de gas de llama piloto
- Control de combustión
- Estructura
- Red de vapor
- Sistema de agua
- Sistema eléctrico y de potencia

A su vez estos subsistemas se dividen en ítem mantenible, según la ISO 14224 se define como ítem mantenible a las partes de los equipos sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento, con el objetivo de alcanzar la confiabilidad deseada, un ejemplo claro es una falla que la norma la asocia a un ítem mantenible debido a que provoca una pérdida de la capacidad del sistema. Todo equipo catalogado como subsistema que falle afecta directamente al sistema.

6.1.1 Tren de gas natural. En el subsistema de tren de gas natural es el encargado de generar las condiciones adecuadas para la inyección de gas natural a la cámara de combustión de la caldera, la caldera 5 puede operar con dos tipos de combustible garantizando así el funcionamiento continuo de esta, el subsistema tren de gas natural cuenta con los siguientes componentes:

Figura 25. Subsistema tren de gas natural

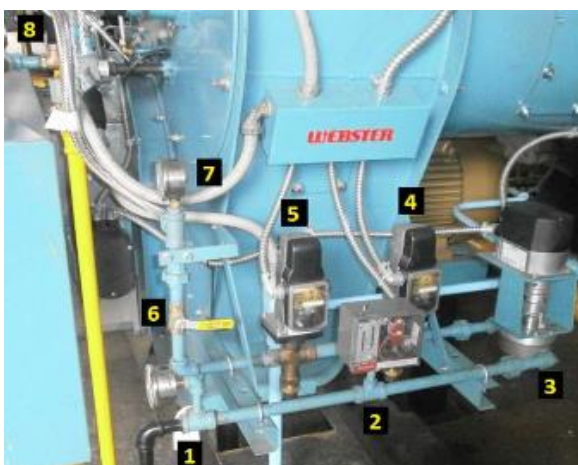


Fuente: cervecería Bavaria Bucaramanga.

1. Válvula de corte manual a la entrada.
2. Manómetro de presión de entrada.
3. Sensor de flujo másico de gas natural.
4. Filtro en Y para gas.
5. Válvula reguladora de entrada de gas.
6. Manómetro de presión regulada 1.
7. Presostato de baja presión de gas.
8. Válvula de corte principal.
9. Válvula de corte auxiliar con regulación.
10. Venteo con válvula manual y solenoide.
11. Manómetro de presión regulada 2.
12. Presostato de alta presión de gas.
13. Válvula manual de corte a la salida.
14. Válvula moduladora de flujo de gas.
15. Tuberías y accesorios.

6.1.2 Tren de acpm. En el subsistema de tren de acpm es el encargado de generar las condiciones adecuadas para la inyección de acpm a la cámara de combustión de la caldera con el fin de cumplir con el funcionamiento de la caldera, el subsistema tren de acpm cuenta con los siguientes componentes:

Figura 26. Subsistema tren de acpm A.



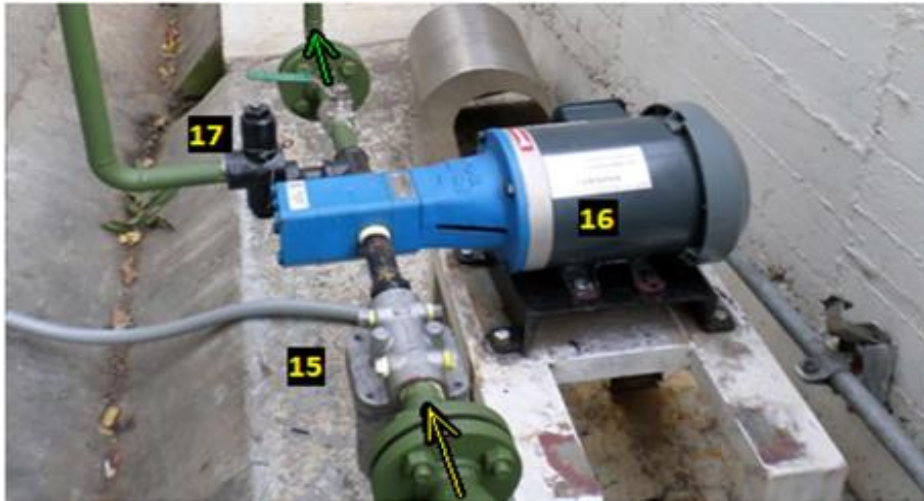
Fuente: cervecería Bavaria Bucaramanga.

Figura 27. Subsistema tren de acpm B.



Fuente: cervecería Bavaria Bucaramanga.

Figura 28. Subsistema tren de acpm C.



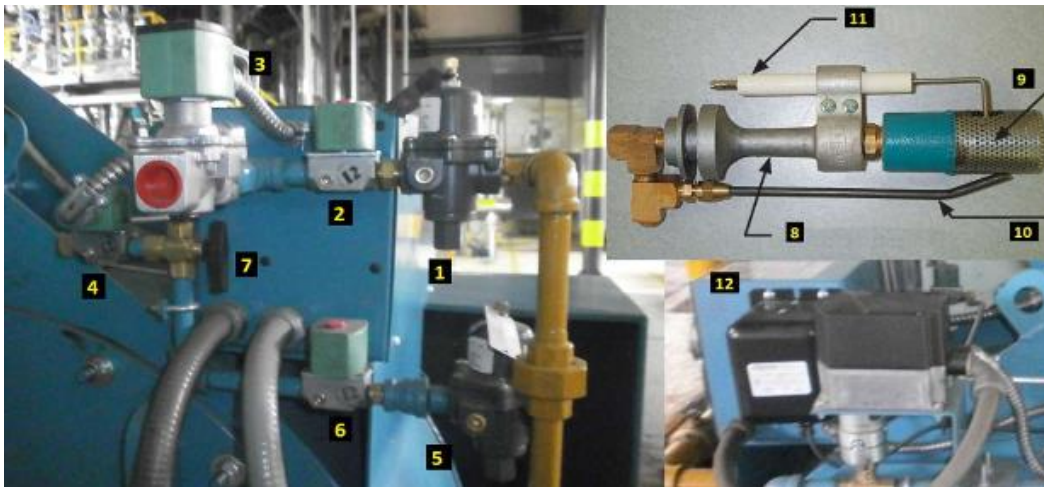
Fuente: cervecería Bavaria Bucaramanga.

1. Manómetro de presión de ACPM.
2. Presostato de baja presión de ACPM.
3. Válvula moduladora de flujo de ACPM.
4. Válvula de corte principal.
5. Válvula de corte auxiliar.
6. Válvula de corte manual.
7. Manómetro de presión de inyección
8. Ingreso de ACPM al cañón y la boquilla
9. Válvula solenoide de aire de atomización.
10. Manómetro de presión de aire de atomiz.
11. Presostato de baja presión aire de atomiz
12. Válvula reguladora de presión aire atomiz.
13. Silenciador de escape de aire.
14. Ingreso de aire de atomización al cañón.
15. Filtro de ACPM para la bomba.
16. Bomba de acpm.

17. Regulador de presión en el retorno.

6.1.3 Tren de gas de llama piloto. La función del tren de gas de llama piloto o quemador es regular la llama de acuerdo a las necesidades de la caldera. El subsistema tren de gas de llama piloto cuenta con los siguientes componentes:

Figura 29. Subsistema tren de gas de llama piloto.

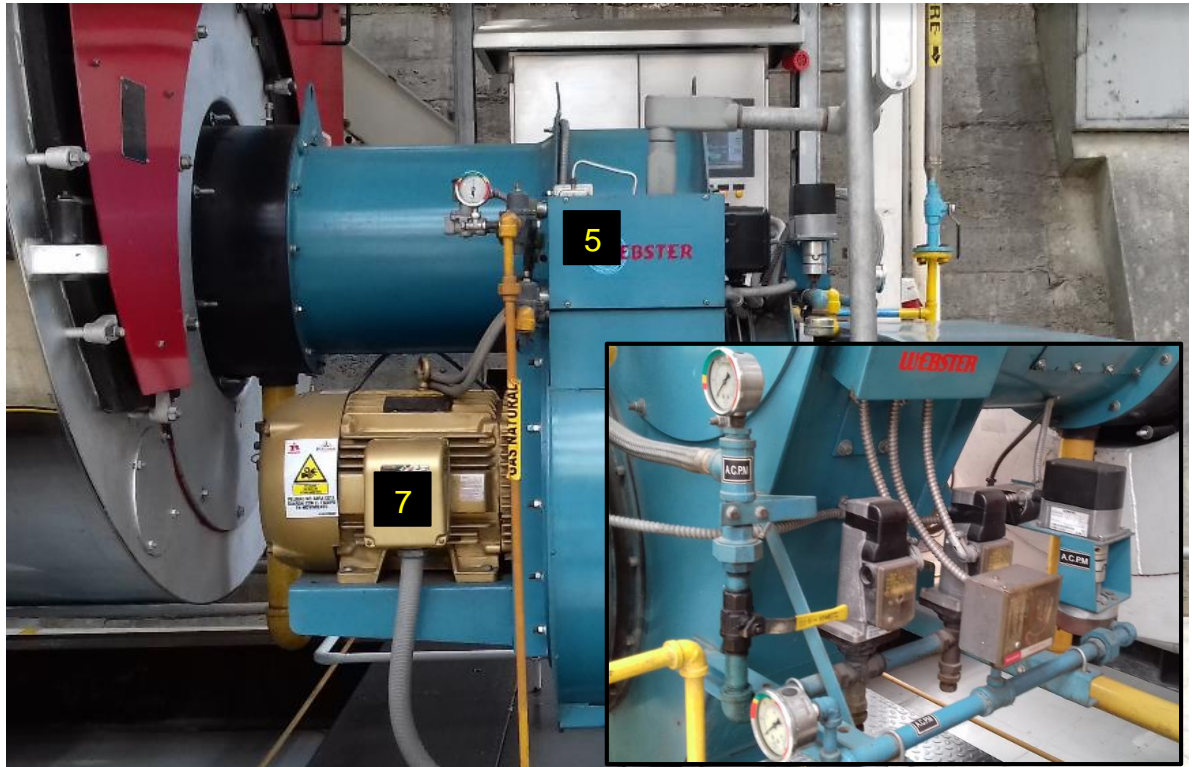


Fuente: cervecería Bavaria Bucaramanga.

1. Válvula reguladora presión de gas natural.
2. Válvula de corte principal de gas natural.
3. Válvula de venteo en gas natural.
4. Válvula de corte auxiliar común.
5. Válvula reguladora presión de GLP.
6. Válvula de corte principal de GLP.
7. Válvula manual de selección gas piloto.
8. Venturi para inyección de gas piloto.
9. Canastilla perforada para quema de gas.
10. Tubo de gas sin procesar.
11. Electrodo de chispa de ignición.
12. Transformador de ignición.

6.1.4 Control de combustión. La función del control de combustión es regular y controlar las condiciones de entrada y dentro de la caldera, por medio de un control electrónico de válvulas, sensores y bombas de impulsión. El subsistema de control de combustión cuenta con los siguientes componentes:

Figura 30. Subsistema control de combustible.



1. Sensor de presión de aire
2. Dámper de entrada de aire
3. Silenciador de entrada de aire al quemador
4. Sensor de llama siemens
5. Quemador dual webster
6. Tiro forzado
7. Motor de 50 hp, 440 vac, 3540 rpm, 58 amp
8. Posicionador para velocidad
9. Variador de velocidad 50 hp, 440 vac
10. Ventilador
11. Controlador de llama siemens
12. Sensor de oxígeno

6.1.5 Estructura. La estructura es el soporte y piezas del equipo que cumplen funciones terciarias en el desarrollo de la actividad específica del equipo. La estructura se divide los siguientes componentes:

Figura 31. Subsistema estructural.



1. Estructura
2. Aislamiento
3. Escalera
4. Plataforma
5. Base
6. Chimenea
7. Cuerpo caldera
8. Presostato alta presión caldera honeywell
9. Pirotubo
10. Tuberías internas de caldera
11. Válvulas de seguridad kunkle
12. Compuertas traseras y delanteras
13. Empaquetadura cuadrada de hilo trenzado grafitada
14. Tornillos y tuercas
15. Mirilla de vidrio trasera

16. Mirilla de vidrio delantera

6.1.6 Red de vapor. Define los componentes que desarrollan funciones en el subsistema del transporte de vapor, el subsistema tiene los siguientes componentes:

1. Cheque de salida
2. Tubería
3. Manómetro presión de vapor
4. Sensor de presión de vapor
5. Medidor de flujo de vapor
6. Válvula manual de corte de salida

6.1.7 Sistema de agua. El sistema de agua es el encargado de suministrar agua a la caldera, los componentes son los siguientes:

1. Tubería
2. Aislamiento
3. Medidor de flujo de agua
4. Válvula reguladora de flujo
5. Control de nivel de agua
6. Transmisor de nivel
7. Control de nivel de alarma de caldera
8. Mirilla de nivel de agua
9. Válvulas de corte de mirilla
10. Controlador de purga continua

6.1.8 Control y de potencia. El subsistema de control y potencia es el encargado de suministrar la electricidad a los instrumentos generalmente sensores permitiendo conocer el estado del equipo mediante la interfaz hombre máquina.

Figura 32. Subsistema de control y potencia.



1. Tablero de potencia
2. IHM visualización de operación
3. HM de enlace con control de llama
4. Breaker principal
5. Parada de emergencia
6. Acometidas eléctricas
7. Caja de conexión señales de campo

8. Caja de conexión señales de válvulas de acpm

Figura 33. Ejemplo hoja de partición en Excel.

Item	TAG	Nivel 1 Partición (Ensamble)	Item	TAG	Nivel 2 Partición (Sub-Ensamble)	Item	TAG	Nivel 3 Partición (Compon
1.0		TREN DE GAS NATURAL	1.1		VÁLVULA DE CORTE MANUAL A LA ENTRADA.			
			1.2		MANÓMETRO DE PRESIÓN DE ENTRADA.			
			1.3	TA20081030/TERA000080	SENSOR DE FLUJO MÁSCO DE GAS NATURAL YOKOGAWA			
			1.4		FILTRO EN Y PARA GAS KEOLEY			
			1.5	461	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN ENTRADA GAS SENSUS			
			1.6		MANÓMETRO DE PRESIÓN REGULADA 1.			
			1.7	C437E2028	PRESÓSTATO DE BAJA PRESIÓN DE GAS HONEYWELL			
			1.8	SKP15.011U1	VÁLVULA DE CORTE PRINCIPAL SIEMENS			
			1.9	VGD40.080U	VÁLVULA DE CORTE AUXILIAR CON REGULACIÓN SIEMENS	1.9.1	SKP25.011U1	ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS
			1.10	8215C63	VENTEO CON VÁLVULA MANUAL Y SOLENOIDE ASCO			
			1.11		MANÓMETRO DE PRESIÓN REGULADA 2.			
			1.12	C437D2029	PRESÓSTATO DE ALTA PRESIÓN DE GAS HONEYWELL			
			1.13		VÁLVULA MANUAL DE CORTE A LA SALIDA			
			1.14	SERIES "CV" 15PSI 3"	VÁLVULA MODULADORA DE FLUJO DE GAS			
			1.15		TUBERÍAS Y ACCESORIOS	1.14.1	SQM45.295A9	ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS
2.0		TREN DE ACPM	2.1		MANÓMETRO DE PRESIÓN DE ACPM.			
			2.2	L404V1087	PRESÓSTATO DE BAJA PRESIÓN DE ACPM HONEYWELL			
			2.3	B-1/2-24	VÁLVULA MODULADORA DE FLUJO DE ACPM HAUCK MFG CO	2.3.1	SQM48.497A9	ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS

6.2 CAUSA Y EFECTO

Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del equipo antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Los objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con la operación y mantenimiento de un equipo.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del equipo e Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla.

Las reglas para redactar el modo de falla son las siguientes:

- Debe describir cómo falla el equipo y no el porqué.
- Debe ser probable que suceda al no hacer mantenimiento.
- No contiene la descripción de un componente o parte de la pieza.
- Debe ser breve, usualmente menos de 10 palabras.
- Se dice con qué calidad realiza la función.

Figura 34. Ejemplo hoja de causa y efecto en Excel.

Item N.º	Nombre de Partición	Descripción de la Falla	Causa	Efecto	Probabilidad	Consecuencia	Probabilidad Consecuencia	MSG III	REVISION
1.0	TREN DE GAS NATURAL	N/A		X	1	1	bajo	no	Ok
1.1	VALVULA DE CORTE MANUAL A LA ENTRADA.	NO REALIZA CORTE TOTAL	X		1	3	medio	si	Ok
1.10	VENTEO CON VALVULA MANUAL Y SOLENOIDE ASCO	N/A		X	1	1	bajo	no	Ok
1.11	MANOMETRO DE PRESION REGULADA 2	NO MARCA LA PRESION CORRECTA	X		1	1	bajo	si	Ok
1.12	PRESOSTATO DE ALTA PRESION DE GAS HONEYWELL	NO GENERA ALARMA Y CORTE EN LA PRESION REQUERIDA	X		1	3	medio	si	Ok
1.13	VALVULA MANUAL DE CORTE A LA SALIDA	NO REALIZA CORTE TOTAL	X		1	3	medio	si	Ok
1.14	VALVULA MODULADORA DE FLUJO DE GAS	NO REGULA	X		1	3	medio	si	Ok
1.14.1	ACTUADORES DE VALVULA SIEMENS	NO LE LLEGA SENAL DE COMUNICACION		X	1	3	medio	si	Ok
1.14.1	ACTUADORES DE VALVULA SIEMENS	NO ACCIONA	X		1	3	medio	si	Ok
1.15	TUBERIAS Y ACCESORIOS	NO CONTIENEN EL PRODUCTO	X		1	3	medio	si	Ok
1.2	MANOMETRO DE PRESION DE ENTRADA.	NO MARCA LA PRESION CORRECTA	X		1	1	bajo	si	Ok
1.3	SENSOR DE FLUJO MASICO DE GAS NATURAL YOKOGAWA	NO MARCA EL FLUJO CORRECTO	X		2	1	bajo	si	Ok
1.3	SENSOR DE FLUJO MASICO DE GAS NATURAL YOKOGAWA	NO MARCA FLUJO	X		1	1	bajo	si	Ok
1.4	FILTRO EN Y PARA GAS KECKLEY	NO PERMITE EL FLUJO DE GAS POR EL FILTRO		X	2	2	medio	si	Ok
1.4	FILTRO EN Y PARA GAS KECKLEY	PERMITE EL PASO DE PARTICULAS	X		1	2	bajo	si	Ok
1.5	VALVULA REGULADORA DE PRESION ENTRADA GAS SENSUS	NO REGULA A LA PRESION ADECUADA		X	1	2	bajo	no	Ok
1.6	MANOMETRO DE PRESION REGULADA 1.	NO MARCA LA PRESION CORRECTA	X		1	1	bajo	si	Ok
1.7	PRESOSTATO DE BAJA PRESION DE GAS HONEYWELL	NO GENERA ALARMA Y CORTE EN LA PRESION REQUERIDA	X		1	3	medio	si	Ok
1.8	VALVULA DE CORTE PRINCIPAL SIEMENS	NO ABRE		X	1	2	bajo	no	Ok
1.9	VALVULA DE CORTE AUXILIAR CON REGULACION SIEMENS	NO ABRE O NO REGULA		X	1	2	bajo	no	Ok
1.9.1	ACTUADORES DE VALVULA SIEMENS	NO RESPONDE A LA SENAL DE ENTRADA		X	1	3	medio	si	Ok
2.0	TREN DE ACPM	N/A		X	1	1	bajo	no	Ok
2.1	MANOMETRO DE PRESION DE ACPM.	NO MARCA LA PRESION CORRECTA	X		1	1	bajo	si	Ok
2.10	MANOMETRO DE PRESION DE AIRE DE ATOMIZACION	NO MARCA LA PRESION CORRECTA	X		1	1	bajo	si	Ok
2.11	PRESOSTATO DE BAJA PRESION AIRE DE ATOMIZACION	NO GENERA ALARMA Y CORTE EN LA PRESION REQUERIDA	X		1	3	medio	si	Ok
2.12	VALVULA REGULADORA DE PRESION AIRE ATOMIZACION	NO REGULA A LA PRESION ADECUADA		X	1	2	bajo	no	Ok
2.12.1	ACTUADORES DE VALVULA SIEMENS	NO ACCIONA	X		1	3	medio	si	Ok

Luego de la descripción de la falla se encuentra un espacio para seleccionar si es causa o efecto, la causa es la acción que lleva a un resultado y el efecto el resultado de una acción, en la siguiente columna está ubicada la calificación de probabilidad y consecuencia, estos valores se obtienen mediante una matriz de calificación, que se puede evidenciar en la Figura 36:

Figura 35. Matriz de calificación probabilidad consecuencia.

RCM CAUSE AND EFFECT GUIDELINES		CONSEQUENCE		
		More than \$5,000 or more than 8 Hrs Down	More than \$1,000 or more than 1 Hr Down	Less than \$1,000 or less than 1 Hr Down
	x	3	2	1
PROBABILITY	More than once per Month	3 High	6 High	3 Med
	More than once per Quarter	2 High	4 Med	2 Low
	Less than once per year	1 Med	2 Low	1 Low

All Effects with Safety, Environmental and/or Quality Consequences will be assigned a number three (3) at a minimum

Fuente: Bavaria Bucaramanga

En la columna probabilidad de consecuencia se da el resultado obtenido de la matriz de calificación, la columna MSG III muestra si a esa tarea se le puede realizar el procedimiento MSG III, el cual es un programa de mantenimiento inicialmente diseñado para el mantenimiento de las aeronaves en su totalidad, pero para este caso será adaptado a la situación del equipo como la caldera. El contenido de las tareas de mantenimiento se encuentran dos grupos de tareas de mantenimiento:

El primer grupo lo conforman las tareas programadas a ejecutarse, con el fin de prevenir los deterioros del equipo, algunas de las tareas de este grupo son:

- Lubricación/limpieza (L/C)
- Inspección operativa (O/I)
- Inspección funcional(I/F)
- Restauración(RE)
- Llevar a falla (RTF)

El segundo grupo lo conforman las tareas no programadas, el objetivo es restaurar el equipo a una condición aceptable se dan como resultado de los reportes de mal funcionamiento del equipo generados por los operarios y los análisis de datos que arrojan los equipos.

6.3 LISTA DE TAREAS MSG III

Para el llenado de la hoja de tareas MSG se tienen en cuenta los efectos de una posible falla de los ítems mantenibles, los efectos pueden ocasionar riesgos de diferentes tipos los efectos tenidos en cuenta en la lista de tareas son:

- **ESE:** efecto evidente en seguridad.
- **EPE:** efecto evidente en la producción.
- **ENP:** efecto evidente no-producción.
- **HSE:** efecto oculto de seguridad.
- **HNS:** efecto oculto no-seguridad.

Más adelante se encuentra la columna que define la técnica con la cual se puede

descubrir la falla, las técnicas usadas en la lista de tareas son:

- **MANUAL:** no se usa ningún tipo de instrumentación para detectar la posible falla.
- **TERMO:** es posible detectar la posible falla mediante una cámara termográfica.
- **VIB:** es posible detectar la falla mediante un medidor de vibraciones.

La columna frecuencia determina cada cuánto en términos de semanas se deben hacer las tareas de mantenimiento, la semana se representa con un número seguido de la letra (W) por su inicial en inglés, de esta manera 26W en la columna frecuencia indica que la tarea debe realizarse cada 26 semanas. La columna duración de tarea se llena teniendo como unidad la hora (H), una tarea de 6,5 indica que la duración promedio de la tarea es de 6,5 horas.

Para cada tipo de tarea existen distintos operarios en capacidad de desarrollarla, al igual que no siempre es necesario detener el equipo para realizar la tarea de mantenimiento, en las columnas oficio y estado de máquina se determina quien puede hacer la tarea de mantenimiento y en qué estado debe estar el equipo respectivamente:

- **O:** operario.
- **M1:** mecánico conocimiento básico.
- **M2:** mecánico conocimiento medio.
- **M3:** mecánico conocimiento alto.
- **M4:** mecánico especialista.
- **E1:** electricista conocimiento básico.
- **E2:** electricista conocimiento medio.
- **E3:** electricista conocimiento alto.
- **E4:** electricista especialista.
- **I:** instrumentista.
- **F:** equipo en funcionamiento.
- **D:** equipo detenido.

En la columna descripción de la tarea se describe el procedimiento en caso de falla de la siguiente manera: la tarea, oficio, ítem mantenible, frecuencia y estado de la máquina seguido de la labor de mantenimiento. La figura 33 muestra un ejemplo de la organización de la hoja de tareas MSG3, la hoja MSG3 de la caldera 5 completamente desarrollada se encuentra en formato A2 en el anexo R de este libro, al igual que en los anexos digitales

Figura 36. Estructura hoja de Excel MSG3.

EQUIPO, ENSAMBLE O COMPONENTE	Descripción de la Falla	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO	TAREA	Técnico PdB	DESCRIPCION DE LA TAREA	Código respuesta S4	Cost.	FRECUENCIA	DURACION TAREA (N)	OFICIO	ESTADO DE LA MAQUINA
VÁLVULA DE CORTE MANUAL A LA ENTRADA	NO REALIZA CORTE TOTAL	SELLOS DE LA VÁLVULA DESGASTADOS	ENP	RTP								
MANÓMETRO DE PRESIÓN REGULADA 2	NO MARCA LA PRESIÓN CORRECTA	MANÓMETRO DESCALIBRADO POR USO, VIBRACIONES O GOLPES	ENP	LJF	MANUAL	INSPECCIONE EL ESTADO GENERAL DE LOS			26 W	6,5	I	F
PRESOSTATO DE ALTA PRESIÓN DE GAS HONEYWELL	NO GENERA ALARMA Y CORTE EN LA PRESIÓN FRECUENCIA	PRESOSTATO OBSTRUIDO, CONTACTOS ELÉCTRICOS SUFATADOS, SOLTURA MECÁNICA	EPE	LJF	MANUAL	INSPECCIONE Y DESMONTA LOS PRESOSTATOS DE			52 W	6,5	I	D
VÁLVULA MANUAL DE CORTE A LA SALIDA	NO REALIZA CORTE TOTAL	DESGASTE DE SELLOS O TELONES INTERIORS	ENP	RTP								
VÁLVULA MODULADORA DE FLUJO DE GAS	NO REGULA	DESACOPLAMIENTO CON EL ACTUADOR	EPE	LJF	MANUAL	WF ROM ELEC VALVY RES FLUJO GAS 10V D	1340924	1	13 W	0,5	E2	D
ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS	NO LE LLEGA SEÑAL DE COMANDACION	SULTA FALTIMENTO DE CONTACTOS, CABLEADO AVERRINO	EPE	LJF	MANUAL	RETIRE LA TAPA DEL ACTUADOR	1340924	1	13 W	0,5	E2	D
ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS	NO ADOONA	GARGO DEL ACTUADOR	EPE	LJF	MANUAL	RETIRE LA TAPA DEL ACTUADOR	1340924	1	13 W	0,5	E2	D
TUBERÍAS Y ACCESORIOS	NO CONTIENEN EL PRODUCTO	DESGASTE, ABRASIÓN, ROTURA DE EMPAQUE, ROTURA DE SELLOS	ESE	O/E	MANUAL	RETIRE LA TAPA DEL ACTUADOR			26 W	0,3	O	F
MANÓMETRO DE PRESIÓN DE ENTRADA	NO MARCA LA PRESIÓN CORRECTA	MANÓMETRO DESCALIBRADO POR USO, VIBRACIONES O GOLPES	ENP	LJF	MANUAL	REALICE INSPECCIÓN DEL TREN DE GAS NATURAL			26 W	6,5	I	F
SENSOR DE FLUJO MÁSCO DE GAS NATURAL YOKOGAWA	NO MARCA EL FLUJO CORRECTO	- INSTRUMENTO DESCALIBRADO POR CORNIMENTO DEL CERO Y SPAN	ENP	LJF	MANUAL	INSPECCIONE EL ESTADO GENERAL DE LOS			52 W	3	I	D
SENSOR DE FLUJO MÁSCO DE GAS NATURAL YOKOGAWA	NO MARCA FLUJO	- DAÑO DEL INSTRUMENTO	ENP	RTP		WF ROM ELEC VALVY RES FLUJO GAS 10V D						
FILTRO EN Y FARA GAS HEOLLEY	NO PERMITE EL FLUJO DE GAS POR EL FILTRO	FILTRO OBSTRUIDO POR CONTAMINACIÓN	EPE	LJC	MANUAL	LC ROM OPER FILTRO EN Y GAS 50V D			52 W	1	O	D
FILTRO EN Y FARA GAS HEOLLEY	PERMITE EL PASO DE PARTICULAS	FILTRO FOTO POR ABRASIÓN	HRS	RTP		CALDERA DETENIDA						

7. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Es algo normal las constantes fallas de equipos y de paradas de los mismos, pero afortunadamente esto se evita con una buena planeación y ejecución del mantenimiento. Actualmente en la cervecería Bavaria Bucaramanga solo se llevan indicadores de confiabilidad de proceso y esto no quiere decir que todos los equipos se encuentren en buen estado, debido a que se tienen equipos de respaldo para asegurarse de que nunca se detenga la producción. Estos indicadores de confiabilidad de proceso tienen una gran desventaja y es que esconden ciertas falencias de los equipos.

Para garantizar la confiabilidad de cada uno de los equipos bajo sus condiciones de diseño, se hace que las personas encargadas de la operación de los equipos tengan los conocimientos adecuados de funcionamiento básico operacional. Para esto a los operadores se deben involucran a que tengan los conceptos operacionales, para que le facilite y le sea práctico las labores de mantenimientos que se le realicen a los equipos, reduciendo tiempo de inactividad y trabajos innecesarios.

No tan solo en Bavaria sino que en cualquier empresa es primordial que los operarios tengan un conocimiento amplio de la máquina para implementar mantenimiento autónomo. Para este caso se busca con esta calificación saber en qué nivel se encuentra cada operador para ajustar y asignar las tareas que arroja el mantenimiento centrado en confiabilidad; con esto se busca disminuir tiempo de parada, llamados innecesarios de técnicos o personal de mantenimiento. Para saber el conocimiento de cada operario, Bavaria S.A realiza ciertas evaluaciones para determinar en qué nivel de conocimiento se encuentra el operario y que reacción puede tener frente a ciertas situaciones que genere el equipo.

7.1 NIVELES ATM PARA OPERADORES

A continuación se encontrarán los nueve niveles con los que se califican a los operadores de todas las áreas de la planta de Bavaria:

Figura 37. Niveles 1-2 ATM para operadores.

NIVELES ATM PARA OPERADORES (NIVELES 1 AL 9)



Niveles ATM para operadores

Nivel 1 "Limpieza"

Todas las tareas de limpieza y saneamiento incluyendo de fregado, desinfección, lavado, enjuague, abrillantado, y la operación de los sistemas CIP excluyendo las tareas que requieren una formación de especial habilidad o conocimiento.

Ejemplos, no exhaustivos, incluyen los siguientes:

- Saneamiento y el CIP, ejemplo para el scrubber en la planta de CO₂.
- Limpieza general de pisos, entresuelo y equipos auxiliares
- Limpieza de motores eléctricos, bombas y reductores
- Limpieza de las válvulas, visores, instrumentos de control de calidad (sensor de oxígeno reactores MBBR, equipo de medición de pureza CO₂)
- Limpieza de partes específicas de la máquina y subconjuntos
- Eliminación de exceso de grasa de accesorios de engrase, rodamientos, etc
- Limpieza de derrames de aceite / lubricante
- Limpieza de sensores
- Eliminación de polvo de pisos, edificios y equipos

Nota:

1. Ejemplos de artículos que no están en el Nivel 1 de módulos de equipos de entrenamiento incluyen la limpieza de derrames de productos químicos donde se requiere la formación de materiales peligrosos y la formación para la certificación preliminar. Módulos separados de capacitación existen y sólo necesitan ser referenciados.
2. El operador debe ser entrenado, hasta donde sea posible, en identificar la fuente de contaminación no natural que podría remediarse a través de un proyecto, o modificación para facilitar / eliminar la contaminación.

Nivel 2 "lubricación"

Todas las tareas de lubricación, incluyendo la aplicación de lubricantes, el llenado de depósitos de aceite, cambios de aceite en los sistemas que no están equipados con complejos sistemas de filtrado y la rutina de inspecciones de esos sistemas.

Ejemplos, no exhaustivos, incluyen los siguientes:

- Seguimiento de planes de trabajo para un nivel de lubricación y engrase adecuado
- Identificar las fugas en los sistemas de lubricación
- Inspección de sistemas automáticos de limpieza (bomba de lavado del filtrobanda)
- Comprender los principios básicos de lubricación
- Identificar los tipos de lubricantes
- Identificar puntos de lubricación
- Conocimiento de frecuencias de lubricación
- Verificar niveles de lubricante y completar en caso necesario

Figura 38. Niveles 3-4 ATM para operadores.

NIVELES ATM PARA OPERADORES (NIVELES 1 AL 9)



- Almacenamiento de lubricantes
- Comprobación de depósitos de lubricante y llenado oportuno
- Eliminación de exceso de grasa de las graseras y rodamientos
- Eliminación del agua de los separadores

Nivel 3 "inspeccionar e informar"

Incluye la inspección funcional, o no operativa a través de equipos de medición visual simple, u otros medios intuitivos para el propósito de la identificación de fallos de funcionamiento, el funcionamiento incorrecto o necesidad de ajuste, o fallo inminente tal como se aplica a cualquier equipo de proceso de elaboración de la cerveza. Esto incluye medidas que no requieren habilidades especiales, instrumentación, o conocimientos especiales.

Ejemplos, no exhaustivos, son los siguientes:

- Identificación de desgaste de acoples y desalineación
- Identificación de desgaste de correas o bandas de transmisión (tensión / estiramiento, óxido, deshilachado, etc)
- Identificación de desviaciones de presión, caudal o temperatura
- Identificación de condiciones inusuales de las máquinas (oído, olfato, visual y vibraciones)
- Inspección de líneas eléctricas, falta de cajas de empalme, sulfatamiento en contactos
- Identificación de fugas en tuberías y accesorios- aire, CO2, vapor, agua, cerveza
- Intercambiadores de calor en busca de fugas de cerveza y agua
- Válvulas manuales para el desgaste, o soldadura en el eje
- Sellos y Pérdida de la junta
- Válvulas automáticas, actuador y la alineación delantero y seguro
- Falta o soldadura de componentes: las guardas de seguridad de la máquina, cubiertas de motores, etc
- Análisis de 5XQ

Nivel 4 "Quick Fix"

La reparación de equipos o componentes averiados, o el mal funcionamiento. Aplica para componentes o sistemas que no requieren conocimientos especializados, experiencia, capacitación, herramientas especiales o instrumentos.

Ejemplos, no exhaustivos, incluyen los siguientes:

- Reemplazo de filtros (CO2, aire)
- Ajustes de presión en reguladores
- Reparar fugas de aire / agua, reemplazo de mangueras
- Reemplazar manómetros o termómetros averiados.
- Sustitución de válvulas (manual y automático)
- Reemplazo o ajuste de juntas

Figura 39. Niveles 5-6-7 ATM para operadores.

NIVELES ATM PARA OPERADORES (NIVELES 1 AL 9)



- Ajuste de presanestopas
- Sustitución de tramos de tubing, racores, uniones.
- Cambio o apriete de tornillos y tuercas
- Es capaz de leer y entender árbol resolución de problemas

Nivel 5 "Medida"

Incluye la medida y la evaluación de los dispositivos, componentes, sistemas o equipos que no requiere habilidad especializada, la formación, el conocimiento, o instrumentos especiales cuyo funcionamiento requieren habilidades especiales para su uso.

Ejemplos, no exhaustivos, incluyen los siguientes:

- Medición de elongación de cadenas o correas
- Lectura de indicadores de temperatura del proceso
- Medición de temperatura, termografía básica o con los sentidos
- Comprobación de indicadores operativos, controladores, información IHM
- Medición de diámetros de tubería – interno o externo
- El diámetro de la válvula interna y de tamaño de reemplazo liner
- El tamaño de los elementos de fijación utilizados en la planta
- El uso de equipos de medida básica para el dimensionamiento de los elementos de sujeción, tuberías, etc

Nivel 6 "Ajuste"

El ajuste de rutina de los componentes en equipos para mantener la configuración adecuada y los requisitos de calidad del producto, y el funcionamiento correcto que no requiere formación especializada o de realizar.

Ejemplos, no exhaustivos, incluyen los siguientes:

- Interruptor de proximidad o límite de ajuste del interruptor
- En el proceso de ajuste receta
- Ajustes de presión en el regulador

Nivel 7 "Reparar"

Todas las reparaciones de rutina al equipo de elaboración o componentes inclusive la sustitución rutinaria de piezas o subconjuntos, donde las mediciones de habilidades especializadas y técnicas no son un requisito.

Ejemplos, no exhaustivos, son los siguientes: (Muy similar a la "solución rápida")

- Aplica todo lo enunciado en el paso 4 "Quick Fix"
- Notificación de reparaciones o cambios realizados en los equipos
- Ayudar en la clase de reparaciones que figuran en el Nivel 8

Nivel 8 "Descartar y reemplazar"

Figura 40. Niveles 8-9 ATM para operadores.

NIVELES ATM PARA OPERADORES (NIVELES 1 AL 9)



La sustitución o reparación de las piezas y componentes que requieren algún conocimiento o habilidad especializada exclusiva de aquellas tareas que requieren habilidades complejas, herramientas, conocimientos o de formación.

Algunos ejemplos son:

- Reparar / sustituir correa redonda, correa en v y cadena de rodillos
- Quitar / cambiar / re-alinear bombas, reductores o variadores
- Actuadores de válvulas automáticas
- Válvulas manuales
- Rápida desconexión estilo sensores / solenoides
- Re-empalme de bandas transportadoras
- Ayudar en la clase de reparaciones que figuran en el Nivel 9

Nivel 9 "Nivel de Artesanía"

En este punto el operador debe ser capaz de llevar a cabo cualquiera de los niveles 1 a 8 identificados anteriormente, muy similar a un craftman. El operador puede participar en reparaciones mayores de equipos como ayudante, elaboración de empaques, administrador de herramientas, participar en desmontaje y montaje de componentes pesados, reemplazo de componentes sencillos. Debe ser capaz de proponer mejoras en cuanto a la ejecución de mantenimiento, mejoras en los tiempos de mantenimientos, mejoras en los métodos de inspección, mejoras en materiales de piezas o repuestos.

7.2 RESULTADO DE LA CALIFICACIÓN

Figura 41. Resultado de calificación de los operadores.

HABILIDADES DE LOS OPERADORES DE LA CERVECERIA DE BUCARAMANGA											
OPERADORES DE PROCESO		Estudios	Nivel 1 LIMPIEZA	Nivel 2 LUBRICACIÓN	Nivel 3 INSPECCIONAR E INFORMAR	Nivel 4 QUICK FIX	Nivel 5 MEDIDA	Nivel 6 AJUSTE	Nivel 7 REPARAR	Nivel 8 REEMPLAZAR	Nivel 9 NIVEL DE ARTESANIA
SERVICIOS	PTAP - PTAR	NADIA MARCELA BARBOSA BUSTAMANTE	Universidad								
		GERSON YAMID RAMIREZ CABALLERO	Universidad								
		OSCAR LIZARAZO SOLANO	Universidad								
		CLAUDIA MARCELA CASTELLANOS MOTTA	Universidad								
		CLAUDIA MARCELA OMEARA ALVAREZ	Universidad								
		LAURA YEDXENIA MALDONADO	Universidad								
		JHONATTAN JULIAN QUESADA FUENTES	Tecnólogo								
	CALDERAS	NESTOR FRANCISCO ACEVEDO RUIZ	SENA								
		JOSE CORNELIO ALARCON PEÑA	Tecnólogo								
		HENRY ORTIZ CONTRERAS	Universidad								
		JOSE NAYIT SANDOVAL REYES	Tecnólogo								
	MÁQUINAS	HENRY ARIAS VERA	Tecnólogo								
		ORLANDO CARLOS ARIZA GONZALEZ	Tecnólogo								
DANIEL DIAZ OSPINA		Tecnólogo									
GERMAN GOMEZ SANTOS		Universidad									
WILLIAM ALBERTO TRUJILLO DEDE		Tecnólogo									

Fuente: Bavaria Bucaramanga.

En la figura 41 se evidencia un listado con los operadores de los diferentes equipos de servicios industriales y de la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual está compuesto por la respectiva calificación que obtuvieron a causa del conocimiento de la función operacional del equipo que estén a cargo.

Para obtener la calificación, cada operador tuvo que responder una serie de preguntas en cada nivel, en los cuales van involucrados desde una simple limpieza general del equipo hasta un nivel superior donde sea capaz de proponer mejoras en cuanto a la ejecución del mantenimiento, mejoras en los tiempos de mantenimiento, mejoras en los métodos de inspección, mejoras en materiales de piezas o repuestos.

El operador para tener un buen conocimiento sobre la función de operación del equipo debe tener una experiencia amplia, donde vaya obteniendo una secuencia de capacitaciones para ir adquiriendo la suficiente información que le permita tener una buena reacción frente a la situación que pueda presentar el equipo o para efectos de una buena ejecución de mantenimiento.

En la figura 41. Además del nombre de cada operador, se relaciona una columna con el estudio académico que posee. También aparecen las nueve casillas de los diferentes niveles de evaluación, donde las que están resaltadas con color verde indican el nivel que hayan aprobado cada operador.

Según los niveles aprobados por los operadores en cada sector de servicio industrial, se procede a hacer un promedio para la asignación de las diferentes tareas de mantenimiento que ellos pueden ejecutar:

- Promedio sector PTAR: Nivel 4
- Promedio sector Caderas: Nivel 8
- Promedio sector Máquinas: Nivel 7

El promedio se realiza debido a la diferente calificación que tiene los operadores encargados del equipo, y que para la planeación del mantenimiento en la hoja de la lista de tareas (Cap 6.3 Lista de Tareas MSG III) no se le asigna a un operador en específico sino en general al grupo de operadores. Para asignar el

o los operadores en específico que se requiera para dicha tarea de mantenimiento se debe hacer en la orden de trabajo.

7.3 ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES

Para los diferentes sistemas que componen los servicios industriales y que están en relación con este proyecto; a los operarios y técnicos de mantenimiento se le asignan las actividades que deben ejecutar ya sea en la prevención, medición y reparación de los equipos, en la siguiente figura se puede observar la asignación de actividades.

Figura 42. Asignación de actividades a los operadores y técnicos.

SERVICIOS		ACTIVIDADES				
ITEM	SERVICIOS INDUSTRIALES	PREVENIR		MEDIR	REPARAR	
		Limpieza	Lubricación	Inspecciones Periódicas	Soluciones rápidas	Reparación de averías/paros
34	Sistema de vapor	OP	OP	OP - TM	OP	OP - TM
35	Sistema de refrigeración	OP	OP	OP - TM	OP	OP - TM
36	Sistema de CO2	OP	OP	OP - TM	OP	OP - TM
37	Sistema de aire	OP	OP	OP - TM	OP	OP - TM
39	PTAR	OP	OP - TM	OP - TM	OP	OP - TM

OP: Operador de proceso

TM: Técnico de mantenimiento

Fuente: Bavaria Bucaramanga.

7.4 TAREAS A REALIZAR LOS OPERADORES

Además de tener la asignación de actividades, se tiene las tareas que deben

hacer los operadores en cada sistema de servicios industriales. Las tareas se distribuyen de la siguiente manera:

Figura 43. Tareas a realizar los operadores de proceso.

SERVICIOS

ITEM	SERVICIOS INDUSTRIALES	TAREAS A REALIZAR LOS OPERADORES DE PROCESO
34	Sistema de vapor	Reparación de bombas de dosificación de químicos, cambio de empaques, cambio de mirillas de nivel
35	Sistema de refrigeración	Reporte de anomalías, asistencia de reparaciones mayores, lubricación de chumaceras, limpieza profunda, medición de parámetros de funcionamiento de equipos
36	Sistema de CO2	Reporte de anomalías, asistencia de reparaciones mayores, lubricación de chumaceras, limpieza profunda, medición de parámetros de funcionamiento de equipos
37	Sistema de aire	Reparación de fugas de aire, reporte de anomalías, cambio de piezas de desgaste
39	PTAR	Reporte de anomalías, asistencia de reparaciones, lubricación de chumaceras, limpieza profunda, medición de parámetros de funcionamiento de equipos

Fuente: Bavaria Bucaramanga.

8. GENERACIÓN DOCUMENTO SUAVIZADO

En el documento suavizado se vuelve a plasmar contenido de la lista de tareas MSG III, donde se pueden encontrar aspectos como:

- El número de tarea.
- La descripción de la tarea.
- El responsable de la tarea.
- La frecuencia del mantenimiento.
- El estado de la máquina a la hora de hacer el mantenimiento.
- Duración del mantenimiento.
- Semana de inicio.

Este tipo de documento se caracteriza por ser un formato muy organizado en cuestión de la distribución de las tareas en un cronograma, para que las tareas se asignen en diferentes días y no acumulen de tal forma que se cumplan todas las actividades de mantenimiento.

Figura 44. Documento suavizado, tareas del operario.

BAVARIA		NUMERO DE SEMANA										31/03/2017	14/04/2017	21/04/2017	28/04/2017	05/05/2017	12/05/2017	19/05/2017	26/05/2017	02/06/2017	09/06/2017	16/06/2017	23/06/2017	30/06/2017
No TAREA	PM #	DESCRIPCION	RESP.	FREC.	Estado	HRS	Inicio	W	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
5	32368	4.4 - SENSOR DE LLAMA SIEMENS - LIC RCM OPER SENSOR LLAMA 26W D	0	26 W	D	0,3	14	26	0,3															
7	32368	1.4 - FILTRO ENY PARA GAS KIDKLEY LIC RCM OPER FILTRO ENY GAS 52W	0	52 W	D	1,0	14	52	1,0															
32	32368	4.6.3 - VENTILADOR - LIC RCM OPER VENTILADOR TRIO FORZ 52W D	0	52 W	D	1,5	14	52	1,5															
33	17332	5.0 - ESTRUCTURA - LIMPIEZA	0	1 W	F	0,5	7	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
44	32363	8.1 - TABLERO DE POTENCIA - LIC RCM OPER TABLERO PPAL 4W F	0	4 W	F	0,8	7	4	0,8					0,8										
10	32363	1.5 - VALVULA REGULADORA DE PRESION ENTRADA GAS SENSUS - OM	0	13 W	F	0,3	7	13							0,3									
28	32401	4.6.1 - MOTOR DE 50HP, 440VAC, 3540 RPM, 58 AMP - LIC RCM OPER	0	13 W	F	0,3	9	13									0,3							
39	32402	7.3 - VALVULA REGULADORA DE FLUIDO - LIC RCM OPER VALV REG	0	4 W	F	0,5	10	4	0,5				0,5					0,5				0,5		
29	32403	4.6.1 - MOTOR DE 50HP, 440VAC, 3540 RPM, 58 AMP - IF RCM OPER VIB	0	13 W	F	0,5	11	13														0,5		
25	32404	6.2 - TUBERIA - OM RCM OPER TUBERIA VAPOR 26W F	0	26 W	F	0,3	18	26					0,3											
22	32405	2.16 - TUBERIAS Y ACCESORIOS - OM RCM OPER TREN DE ACPM 26W F	0	26 W	F	0,3	19	26						0,3										
23	32405	3.13 - TUBERIAS Y ACCESORIOS - OM RCM OPER TREN LLAMA PILOTO 26W F	0	26 W	F	0,3	19	26						0,3										
26	32406	7.1 - TUBERIA - OM RCM OPER TUBERIA AGUA 26W F	0	26 W	F	0,3	20	26							0,3									
43	32406	8.16 - PARADA DE EMERGENCIA - IF RCM OPER PARA EMERGENCIA 26W F	0	26 W	F	0,5	20	26							0,5									
8	32407	2.15.3 - FILTRO DE SUCCION - LIC RCM OPER FILTRO ACPM 52W F	0	52 W	F	1,0	21	52								1,0								
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA DETENIDA									0															
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA OPERANDC									0	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
									1,00	1,30	0,50	0,50	1,30	1,50	1,60	1,50	1,30	1,30	1,60	0,50	1,00			

Este formato también tiene un orden en relación a los responsables de dichas tareas para llevar una sumatoria del tiempo que emplean para desarrollar las actividades por semana; en la figura 45, se evidencia un recuadro color rojo donde están organizadas las secciones de los responsables existentes del mantenimiento en la planta Bavaria S.A

Figura 45. Documento suavizado, tarea personal de mantenimiento.

BAVARIA										07/04/2017	14/04/2017	21/04/2017	28/04/2017	05/05/2017	12/05/2017	19/05/2017	26/05/2017	02/06/2017	09/06/2017	16/06/2017	23/06/2017				
NUMERO DE SEMANA										ABRIL			MAYO			JUNIO									
No TAREA	PM #	DESCRIPCION	RESP.	FREC.	Estado	HRS	Inicio	W	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	2				
17	32400	2.15-4 - REGULADOR DE PRESION EN EL RETORNO - LIC RCM MEC	M2	52 W	F	1,0	8	52																	
18	32409	3.1 - VÁLVULA REGULADORA PRESION DE GAS NATURAL - LIC RCM	M2	26 W	F	1,5	9	26																	
47	32410	2.15 - BOMBA DE ACPM - IIF RCM MEC BOMBA ACPM 52W F	M2	52 W	F	1,0	10	52																	
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA DETENIDA										M2													0		
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA OPERANDC										M2														0	
No TAREA	PM #	DESCRIPCION	RESP.	FREC.	Estado	HRS	Inicio	W	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	2				
40	32411	7.5 - TRANSMISOR DE NIVEL (PRESION DIFERENCIAL) YOKOGAWA - IIF RCM	I	26 W	D	2,0	14	26	2,0																
41	32411	7.4 - CONTROL VARRK DE NIVEL DE AGUA - LIC RCM INST CONTROLES	I	26 W	D	4,0	14	26	4,0																
6	32411	4.1 - SENSOR DE PRESION DE AIRE - IIF RCM INST SENSOR P. AIRE 52W D	I	52 W	D	1,0	14	52	1,0																
20	32411	3.11 - ELECTRODO DE CHISPA DE IGNICION - IIF RCM INST QUEMADOR	I	52 W	D	2,0	14	52	2,0																
21	32411	4.2 - DAMPER DE ENTRADA DE AIRE - OM RCM INST DAMPER AIRE 52W D	I	52 W	D	1,0	14	52	1,0																
2	32411	1.3 - SENSOR DE FLUJO MASICO DE GAS NATURAL YOKOGAWA - IIF RCM	I	52 W	D	3,0	14	52	3,0																
48	38146	7.6 - CONTROL DE NIVEL DE ALARMA DE CALDERA MC. DONNELL - IIF RCM	I	52 W	D	2,0	22	52														2,0			
49	38146	7.6 - CONTROL DE NIVEL DE ALARMA DE CALDERA MC. DONNELL - OS RCM	I	260 W	D	4,0	22	260														4,0			
1	32412	1.11 - MANOMETRO DE PRESION REGULADA 2 - IIF RCM INST	I	26 W	F	6,5	17	26				6,5													
42	32413	7.7 - CONTROLADOR DE PURGA CONTINUA - IIF RCM INST CONTROL	I	52 W	F	1,5	28	52																	
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA DETENIDA										I													6,0		
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA OPERANDC										I				6,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0

Teniendo en cuenta el estado en que debe estar el equipo al momento de realizar la tarea de mantenimiento, donde también tiene un orden claro para que las tareas con equipo Detenido se organicen en una misma semana para no hacer paradas de equipos muy frecuentes. En el recuadro azul de la figura 46 se observa la distribución de tareas con el equipo en estado (D) y no necesariamente con una misma frecuencia de ejecución de la tarea. Cuando la tarea es con horas por equipo en Funcionamiento no quiere tener una serie de tareas en la misma semana.

Figura 46. Documento suavizado Eléctricos nivel 2 y Mecánicos nivel 4.

No TAREA	PM #	DESCRIPCION	RESP.	FREC.	Estado	HRS	Inicio	W	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
31	32434	4.6.2 - VARIADOR DE VELOCIDAD 50 HP - 440VAC - LIC RCM ELEC	E2	4 W	D	0,5	14	4	0,5				0,5				0,5				0,5	
11	32434	1.4 - VÁLVULA MODULADORA DE FLUIDO DE GAS - I/F RCM ELEC VALV	E2	13 W	D	0,5	14	13	0,5													
27	32435	4.2.1 - ACTUADORES DE VÁLVULA SIEMENS - I/F RCM ELEC ACTUADOR	E2	13 W	F	0,5	12	13													0,5	
34	32436	5.1 - AISLAMIENTO - I/F RCM ELEC TERM AISLAMIENTO 52W F	E2	52 W	F	1,0	13	52														
24	32417	6.3 - CAJA DE CONEXIÓN DE SEÑALES DE CAMPO - I/F RCM ELEC CAJAS	E2	13 W	F	0,7	14	13	0,7													
30	32430	4.6.1 - MOTOR DE 50 HP, 440VAC, 3540 RPM, 58 AMP - I/F RCM ELEC	E2	26 W	F	0,3	15	26		0,3												
45	32438	6.14 - SISTEMA DE PUESTA A TIERRA - I/F RCM ELEC PUESTA TIERRA 52W F	E2	52 W	F	0,5	15	52		0,5												
46	32439	6.15 - BREAKER PRINCIPAL - I/F RCM ELEC TERM TABLERO 13W F	E2	13 W	F	1,0	16	13			1,0											
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA DETENIDA						E2			1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA OPERANDC						E2			1,20	0,60	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00
No TAREA	PM #	DESCRIPCION	RESP.	FREC.	Estado	HRS	Inicio	W	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
19	32420	4.5 - QUEMADOR DUAL WEBSTER - I/F RCM PM03 HOGAR CALDERA 52W D	M4	52 W	D	8,0	14	52	8,0													
37	32420	5.8 - VÁLVULAS DE SEGURIDAD KUNKLE - I/F RCM PM03 VALVULAS	M4	104 W	D	8,0	14	104	8,0													
4	32421	4.8 - SENSOR DE CO2 GENCO - I/F RCM PM03 SENSOR O2 156W D	M4	156 W	D	8,0	52	156														
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA DETENIDA						M4			16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA POR OFICIO CON MAQUINA OPERANDC						M4			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA CON MAQUINA DETENIDA									43,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0		
NUMERO TOTAL DE HORAS POR SEMANA CON MAQUINA OPERANDO									2,2	2,1	2,2	7,0	1,3	1,3	1,6	1,5	1,3	1,3	1,6	2,0		

9. INDICADORES DE FALLA

En la gestión de mantenimiento existen diversos indicadores que muestran las relaciones existentes entre elementos lo cual permite optimizar los recursos, contribuir a una reevaluación de las técnicas de mantenimiento y a tener una confiabilidad en el desarrollo del ejercicio industrial.

Las principales mediciones que se hacen con los indicadores son las siguientes:

- Los indicadores tienen como objetivo constatar si el desempeño es el más adecuado, realizando mediciones de los procesos a fin de llevar a cabo un control para verificar que las acciones se realizan dentro de los parámetros preestablecidos, y que se estén tomando las decisiones más acertadas; en otras palabras, que se está llevando a cabo una adecuada gestión.
- También se puede tener una medida gerencial que permite la evaluación del desempeño de las labores en los sistemas productivos frente a los objetivos y metas, en la cual relaciona actividades, estrategias y responsabilidades.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es la mejor metodología para llevar ciertos indicadores de estado de los equipos, debido al proceso de calificación de las tareas. Actualmente en la cervecería Bavaria Bucaramanga solo se llevan indicadores de confiabilidad de proceso, pero estos indicadores no aseguran que las máquinas que tengan equipos de respaldo tengan todos sus componentes en perfecto estado.

Lo que hace el indicador de confiabilidad es asegurar que el proceso no se detenga a causa de alguna falla que se produzca en el equipo; pero en ninguna circunstancia garantiza que las máquinas que tienen equipos de respaldo, tengan todos sus componentes en perfecto estado escondiendo ciertas falencias en dichos equipos.

Para tener en consideración estas falencias es de vital importancia establecer indicadores de falla donde muestren el estado general de la máquina. Para la generación de estos indicadores, en el software SAP se lleva un registro de los avisos que se generan a cada equipo, en la figura 47 se presentan los diferentes ítems a considerar a la hora de ingresar estas clases de avisos:

En primera instancia se debe tener en consideración la situación en que se genera el aviso; para con esto, conocer la clase de aviso y el responsable de la generación.

Figura 47. Clases de avisos del SAP

Clase	Responsable generación	Momento de generación
ZA	Operador del activo, o especialista asignado	Cuando ocurre un paro funcional en el activo. Se toma como guía, aquellos paros mayores o iguales a 10 minutos
ZI	Operador del activo, o especialista asignado	Cuando se detecta una anomalía en el activo, durante la ejecución de una inspección planeada
ZM	Responsable de mantenimiento	Cuando se detecta una anomalía en el activo, durante la ejecución de una inspección no planeada .
ZD	Especialista de mantenimiento asignado	Cuando se concluye la necesidad de realizar una modificación en el activo derivado de un análisis de causas, mejora a realizar por cambios de ingeniería o desarrollo de proyectos
ZR	Especialista de mantenimiento asignado	Cuando se realiza una análisis de causa raíz para solucionar un problema

Para estos indicadores de falla se tienen en cuenta los avisos de clase ZA, debido a que con estos avisos se puede llevar un control del tiempo que el equipo estuvo fuera de servicio, y así poder obtener indicadores de tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar.

9.1 DESARROLLO INDICADORES

Con el fin de contemplar todos los parámetros necesarios en la creación de los indicadores de falla se crea un diagrama de flujo el cual arroja un código de color para cada equipo. Cada color representa diferentes tipos condiciones a las que está expuesta el equipo en análisis, entre las que se encuentran:

- Periodicidad del control: este análisis requiere de cierta periodicidad con el fin de mantener actualizada la información del equipo, esta periodicidad es un criterio del ingeniero planeador de mantenimiento basado en el impacto en producción.
- Disponibilidad de equipo: se basa según el principio de los 5 nueves o alta disponibilidad, que determina el tiempo de parada en el año. La siguiente tabla muestra los tiempos de parada según el porcentaje de disponibilidad.

Figura 48. Disponibilidad según 5 nueves.

Disponibilidad (%)	Tiempo offline/año	Tiempo offline/mes	Tiempo offline/día
90%	36.5 días	73 hrs	2.4 hrs
95%	18.3 días	36.5 hrs	1.2 hrs
98%	7.3 días	14.6 hrs	28.8 min
99%	3.7 días	7.3 hrs	14.4 min
99.5%	1.8 días	3.66 hrs	7.22 min
99.9%	8.8 hrs	43.8 min	1.46 min
99.95%	4.4 hrs	21.9 min	43.8 s
99.99%	52.6 min	4.4 min	8.6 s
99.999%	5.26 min	26.3 s	0.86 s
99.9999%	31.5 s	2.62 s	0.08 s

Fuente: informática e internet, alta disponibilidad: que es y cómo se logra. [en línea]: [recuperado 28 de mayo de 2017] Disponible en: <https://everac99.wordpress.com/2008/08/19/alta-disponibilidad-que-es-y-como-se-logra/>

Este análisis se realiza con una disponibilidad del 95% debido a que se realiza para los equipos en general de la planta. Caso contrario sería si se realiza este análisis solamente para los trece equipos críticos, que por estar en esta calificación de criticidad, el porcentaje de disponibilidad debe ser mayor. Para calcular este porcentaje de disponibilidad se usa la siguiente ecuación:

$$DISPONIBILIDAD: \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

Donde:

MTTR: Tiempo promedio de reparación.

$$MTTR = \frac{\# \text{ horas de paro por avería}}{\# \text{ de averías}}$$

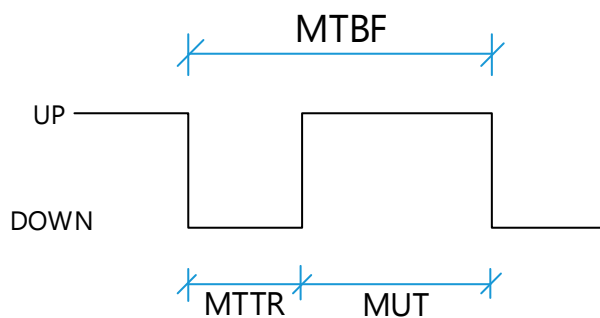
MUT: Tiempo promedio de operación.

$$MUT = MTBF - MTTR$$

MTBF: Tiempo promedio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\# \text{ horas del periodo de tiempo analizado}}{\# \text{ de averías}}$$

Figura 49. Tiempos promedios.



- Confiabilidad de equipo¹⁸: La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

$$CONFIABILIDAD: \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- Disponibilidad de stock: este ítem se refiere a la cantidad de repuestos que tienen que estar disponibles en el almacén. Con la ayuda de un diagrama de Pareto y una base de datos que contenga la cantidad de repuestos que más presentan falla se puede conocer la criticidad de cada uno de los repuestos, siendo la criticidad A la de mayor grado, a la cual se le va hacer el cálculo cantidad óptima de repuestos en stock.

Cantidad optima de pedido del lote:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}}$$

Tope recomendado de repuestos disponibles en el almacén.

Nivel de reorden:

$$ROP: \frac{D * L}{O}$$

Tope de aviso para la solicitud de nuevos repuestos.

¹⁸ MESA GRAJALES, Dairo h., ORTIZ SÁNCHEZ, Yesid, PINZÓN, Manuel, La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento [en línea]: [recuperado 28 de mayo de 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491036>

Donde:

D: Cantidad de repuestos anuales

L: Lead time

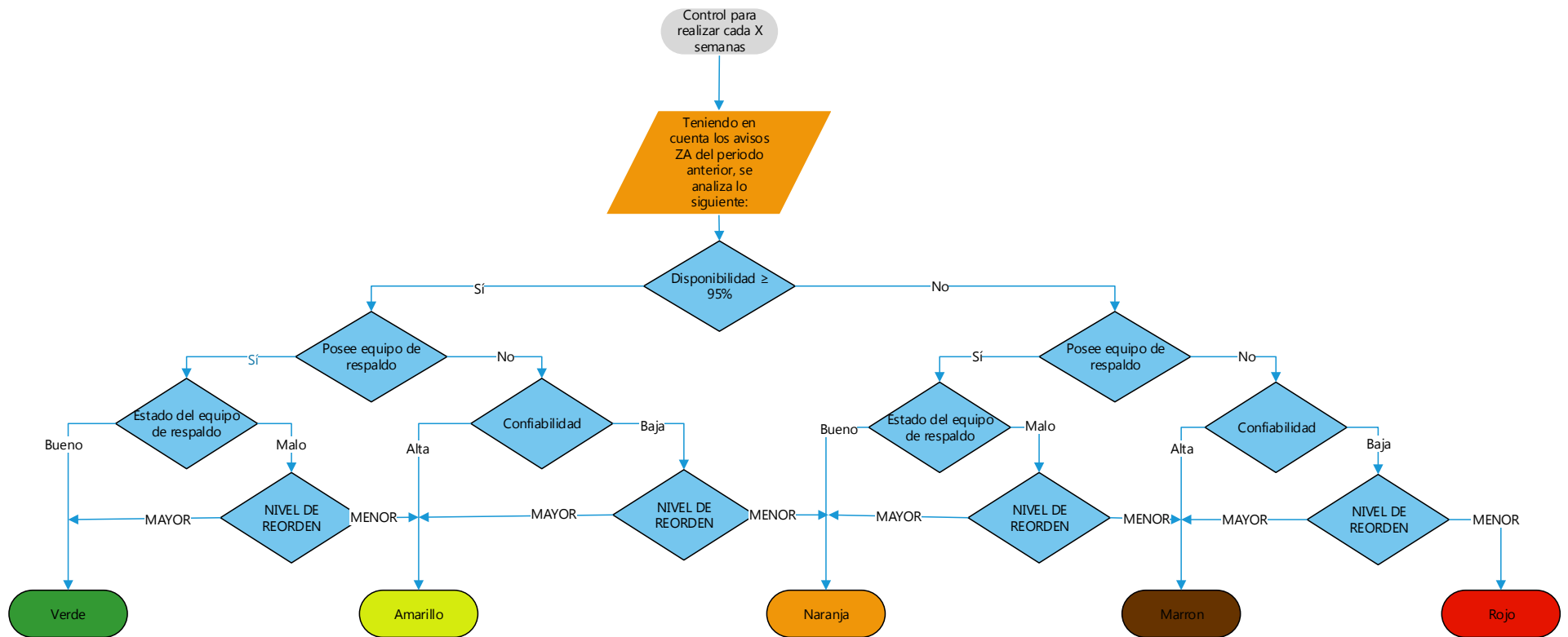
S: Costo de pedido

H: Costo de mantenimiento

O: Días de operación

CALIFICACIÓN	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN
Verde	1) alta disponibilidad; equipo de respaldo en buen estado
	2) alta disponibilidad; equipo de respaldo en mal estado, nivel de stock mayor al de reorden
Amarillo	3) alta disponibilidad; equipo de respaldo en mal estado con nivel de stock menor al de reorden
	4) alta disponibilidad sin equipo de respaldo, nivel de confiabilidad alta
	5) alta disponibilidad sin equipo de respaldo, nivel de confiabilidad baja, nivel de stock mayor al de reorden
Naranja	6) alta disponibilidad sin equipo de respaldo, nivel de confiabilidad baja, nivel de stock menor al de reorden
	7) baja disponibilidad con equipo de respaldo en buen estado
	8) baja disponibilidad con equipo de respaldo en mal estado, con nivel de stock mayor al de reorden
Marrón	9) baja disponibilidad con equipo de respaldo en mal estado, con nivel de stock menor al de reorden
	10) baja disponibilidad sin equipo de respaldo con alta confiabilidad
	11) baja disponibilidad sin equipo de respaldo con baja confiabilidad, con nivel de stock mayor al de reorden
Rojo	12) baja disponibilidad sin equipo de respaldo con baja confiabilidad, con nivel de stock menor al de reorden

Figura 50. Calificación indicador de falla.



10. CONCLUSIONES

- El desarrollo del presente proyecto permitió aplicar los conocimientos adquiridos sobre mantenimiento RCM aplicándolo a los equipos críticos de las áreas de servicios industriales y planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería Bavaria Bucaramanga fortaleciendo las relaciones industria-universidad sobre aplicaciones reales y específicas del mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Con la ayuda del análisis de Pareto se logró obtener los trece equipos de mayor criticidad en las áreas de servicios industriales y planta de tratamiento de aguas residuales. con este análisis se facilita la identificación de los equipos debido a que es un amplio listado de equipos el que se encuentra en estas dos áreas.
- Se actualizo o desarrollo la metodología RCM para los trece equipos con mayor criticidad como lo indico el análisis de Pareto. Con la metodología RCM se determinó cual es la mejor manera de mitigar las consecuencias de cada falla, creando tareas de mantenimiento dependiendo del tipo de falla que presente el equipo
- Con las calificaciones establecidas para el mantenimiento autónomo se logró obtener el nivel de conocimiento de los operarios en cada área permitiendo asignar tareas de mantenimiento dependiendo la calificación obtenida. disminuyendo el llamado inoportuno de personal altamente capacitado para tareas que no lo requieren.
- Con el suavizado se pudo obtener una distribución de todas las tareas en el rango de un año, ajustando el punto de inicio a conveniencia para no generar conflictos con producción y otras actividades programadas del

equipo. Esta distribución también se hizo con la finalidad de generar un tiempo correspondiente al 20% de las tareas programadas para imprevistos del equipo.

- Con el fin de caracterizar la gestión de mantenimiento se estableció una forma de evaluar el estado del equipo con la ayuda de los indicadores de confiabilidad de equipo, disponibilidad de equipo y disponibilidad stock; donde el propósito fue generar códigos de colores para la identificación del estado actual del equipo.

BIBLIOGRAFIA

CARRILLO CORREA, Ivonne Tatiana. Mejoramiento y estandarización de los procedimientos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Bavaria S.A. a través de los sop (Standard Operation Procedure). Trabajo de Grado, ingeniera industrial. Bucaramanga: universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas, 2012, 116p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:1999. 1 ed.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2 ed. Asheville; Aladon LLC., 2004. 433p.

MSG-3, “Maintenance Program Development Document”. Air transport association, Washington DC. Revisión 2 1993

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

PULIDO RAMÍREZ, Ricardo. Análisis estructural y económico de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos electromecánicos en la planta de tratamiento bosconia del acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Trabajo De Grado, ingeniero mecánico. Bucaramanga: universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas, 2011, 256p

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Practicas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie, una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). SAE JA 1012:2002

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Evaluación de criterios para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA 1011:1999

¹ BAVARIA. Acerca de nosotros: historia. [En línea]. (recuperado 10 febrero 2017). Disponible en http://www.sitiosexternos.bavaria.co/11-2/cerveceria_de_bucaramanga_an/

- ¹ BAVARIA. Acerca de nosotros: historia. [En línea]. (Recuperado 10 febrero 2017). Disponible en http://www.sitiosexternos.bavaria.co/11-2/cerveceria_de_bucaramanga_an/
- ² AB Inbev. Nuestra visión [En línea]. (Recuperado 10 febrero 2017). Disponible en <https://www.ab-inbev.es/empresa/nuestra-vision/>
- ³ AB Inbev. Acerca de nosotros: Nuestros diez principios. [En línea]. (Recuperado en 10 febrero 2017.) Disponible en <http://www.ab-inbev.com/about-us/our-culture.html>
- ⁴ BAVARIA. Acerca de nosotros: políticas de conducta empresarial. [En línea]. (Recuperado 10 febrero 2017). Disponible en http://www.sitiosexternos.bavaria.co/11-2/cerveceria_de_bucaramanga_an/
- ⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2 ed. Asheville: Aladon LLC., 2004. p4
- ⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2 ed. Asheville: Aladon LLC., 2004.p68
- ⁷ SAE JA 1011, Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad, sección 1.1
- ⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:1999. 1 ed.
- ⁹ RENOVETEC. RCM fase 1: listado de funciones. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5186/mod_resource/content/1/Documentos/PlandeMantenimientoBasadoRCM.pdf
- ¹⁰ MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. RCM fase 2: determinación de fallos funcionales y fallos técnicos. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/30-rcm?start=6>
- ¹¹ MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. RCM fase 3 Determinación de los modos de fallo. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/30-rcm?start=6>
- ¹² RCM3. Fase 4: 5 Análisis de la gravedad de los fallos. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/127>
- ¹³ RCM3. Fase 5: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas. [En línea]. (Recuperado 13 febrero 2017). Disponible en <http://rcm3.org/las-medidas-preventivas>

¹⁴ CARRILLO, Ivonne Tatiana. Mejoramiento y estandarización de los procedimientos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Bavaria s.a. a través de los sop. Trabajo de grado Ingeniera industrial. Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de estudios industriales y empresariales, 2012. 116 p.

¹⁵ COLOMBIA. MINAMBIENTE. Decreto 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

¹⁶ COLOMBIA. MINAMBIENTE. Decreto 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

¹⁷ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:1999. 1 ed.

¹⁸ MESA GRAJALES, Dairo h., ORTIZ SÁNCHEZ, Yesid, PINZÓN, Manuel, La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento [en línea]: [recuperado 28 de mayo de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491036>>