

Diseño de un plan de mantenimiento basado en condición para válvulas neumáticas en el área de cocinas de la Cervecería de Barranquilla.

Henry Pinzón González

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Juan Camilo Albarrán

Esp. Gerencia de proyectos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Dedicatoria para mi querida madre.

Agradecimientos

Agradecimientos a Dios y mi familia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
2. Estado del arte.....	15
2.1 Válvulas neumáticas	15
2.2 Mantenimiento predictivo	17
2.2.1 Mantenimiento basado en condiciones	17
2.3 Grafana.....	18
2.4 Scada	19
3. Metodología	19
3.1 Etapa 1. Levantamiento de válvulas	20
3.2 Etapa 2. Análisis de criticidad de los activos.....	21
3.3 Diseño del plan de mantenimiento basado en condición	24
3.4 Definición de indicadores de gestión.....	25
4. Resultados	27
5. Conclusiones	34
5.1 Conclusión 1, objetivo específico 1	34
5.2 Conclusión 2, objetivo específico 2	34
5.3 Conclusión 3, objetivo específico 3	35
5.4 Conclusión general.....	35

6. Recomendaciones	35
7. Referencias Bibliográficas	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Valvula neumatica.	15
Figura 2. K-Switch.	16
Figura 3. Caracterización de válvulas.	20
Figura 4. Diagrama de decisiones.	25
Figura 5. Resumen metodología.	27
Figura 6. Caracterización y criticidad.	28
Figura 7. Dashboard en Grafana segregado.	29
Figura 8. Interior de cada segregación del dashboard.	29
Figura 9. Forma de buscar válvula en Braumat.	30
Figura 10. Plan de mantenimiento en SAP.	30
Figura 11. Divulgaciones a personal MTTO y operativo.	31
Figura 12. Indicadores claves.	32
Figura 13. Fallas mayo 2024 a 2025.	33
Figura 14. Fallas mayo 2025 a 2026.	33
Figura 15. Tiempos perdidos.	33
Figura 16. Mejora de los tiempos e indicadores	34

Lista de tablas

Tabla 1.Índice de falla.....	22
Tabla 2. Criterios de consecuencia	23
Tabla 3. Niveles de criticidad.	24

Glosario

CBM (siglas en inglés): mantenimiento basado en condiciones.

HMI (siglas en inglés): pantalla remota para control de proceso operativo.

MTBF (siglas en inglés): tiempo medio entre fallas

MTTR (siglas en inglés): tiempo medio para restauración después de falla.

PM: plan de mantenimiento.

RCM (siglas en inglés): mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

SCADA (siglas en inglés): supervisorio o panel de control del operador.

Resumen

Título: Diseño de un plan de mantenimiento basado en condición para válvulas neumáticas en el área de cocinas de la Cervecería de Barranquilla.

Autor: Henry Pinzón González.

Palabras Clave: CBM, PM, SAP, GRAFANA, VALVULAS, SIMULACIÓN.

Descripción: Diseño de un plan de proyecto para el desarrollo, creación e implementación de un plan de mantenimiento basado en condición específicamente orientado a las válvulas con actuadores neumáticos que se encuentren en el área de cocinas en la cervecería de barranquilla, este enfoque será debido a la alta tasa de fallas relacionadas con válvulas y el riesgo que esto genera al personal de mantenimiento y operativo al exponer a cualquier persona cercana al peligro de los fluidos, muchas veces de alta temperatura y presión que fluyen por dentro de todas las tuberías del área. Con esta estrategia del plan nos permitirá no solo anticipar posibles fallas mediante el monitoreo de variables críticas, buscando de esta manera disminuir en un 20% las fallas no programadas relacionadas con válvulas, además, nos permitirá disminuir la exposición del personal al momento de ejecutar actividades de mantenimiento y también el de prevenir alertando sobre el riesgo de válvulas con problemas físicos que puedan llevar a escape de producto. Con esto, se espera incrementar la confiabilidad de los equipos, mejorar la planificación de recursos de mantenimiento y fortalecer la gestión operativa de la planta. Se utilizará el sistema de SAP para la creación del plan de mantenimiento y la plataforma gratuita llamada GRAFANA para la visualización de las variables a controlar.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías. Especialización en gerencia de mantenimiento. Director: Juan Albarran.

Abstract

Title: Design of a Condition-Based Maintenance Plan for Pneumatic Valves in the Brewing Area of the Barranquilla Brewery.

Author(s): Henry Pinzon Gonzalez

Key Words: CBM, PM, SAP, GRAFANA, VALVES, SIMULATION.

Description: Design of a project plan for the development, creation, and implementation of a condition-based maintenance plan specifically focused on valves with pneumatic actuators located in the kitchen area of the Barranquilla brewery; This approach is necessary due to the high rate of valve-related failures and the risk this poses to maintenance and operational staff, as it exposes anyone in the vicinity to the danger of fluids—often at high temperatures and pressures—flowing through all the pipes in the area. This strategic plan will enable us not only to anticipate potential failures by monitoring critical variables—thereby aiming to reduce unscheduled valve-related failures by 20%—but also to minimize staff exposure during maintenance activities and to prevent incidents by issuing alerts about the risk posed by valves with physical defects that could lead to product leaks. As a result, we expect to increase equipment reliability, improve maintenance resource planning, and strengthen the plant’s operational management. The SAP system will be used to create the maintenance plan, and the free platform called GRAFANA will be used to visualize the variables to be monitored.

*Grade monograph.

**School of engineering. Maintenance management specialization. Director: Juan Albarran.

Introducción

Actualmente en todas las industrias de cualquier ámbito están cada vez más ligadas al auge de la automatización para no solo facilitar la operación humana y disminuir la exposición en la realización de actividades diarias, sino como en todo negocio sacar una rentabilidad muchísimo mayor que antes. Todo esto conlleva a que la parte de gestión de mantenimiento sea más exigida debido al reto constante de asegurar la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos al máximo. Dentro de estos sistemas automáticos, las válvulas con actuadores y retroalimentación de posición cumplen un papel fundamental en diversas aplicaciones como el control de flujo, la regulación de procesos, controles de nivel, conmutaciones y demás. Sin embargo, en muchas plantas industriales las paradas no programadas provienen de fallas o desajustes en estos dispositivos muchas veces olvidados por su “fácil mantenimiento” y tratados con una estrategia de llevarlos a falla muchas veces sin siquiera tomar esa decisión sino por abandono, afectando la eficiencia productiva y generando pérdidas económicas considerables. Recientes experiencias en gestión del mantenimiento en diferentes industrias (JIMENEZ VARGAS & ENDARA VELEZ, 2022) han demostrado que la implementación de estrategias basadas en la condición (CBM, Condition-Based Maintenance) utilizando el monitoreo en línea de variables operativas permite reducir las fallas inesperadas y optimizar los recursos destinados a las intervenciones. (Dueñas-Ramírez et al., 2021) Tecnologías como el análisis de vibraciones, la medición de presión, temperatura, ultrasonido, creación de algoritmos para priorizaciones de daños (Camacho-Gavilanes & Orquera-Noboa, 2021) y algo un poco nuevo que es de lo que hablaremos en este estudio, el tiempo medio de apertura de válvula y el porcentaje o relación de falla de válvulas ofrecen información crítica sobre su desempeño en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones oportunas y la planeación de actividades.

A pesar de estos avances, la cervecería de barranquilla en el área de cocinas tiene una incipiente estrategia la cual en el presente trabajo buscaremos optimizarla. En cocinas aún se depende de esquemas correctivos o preventivos tradicionales que no consideran el estado real del componente y que conlleva en muchos casos a paradas no programadas por válvulas (el 40% de las fallas en el área de cocinas de la cervecería de barranquilla están relacionadas a válvulas) o a un mayor costo de mantenimiento debido al deterioro del activo cuando se va a intervenir.

Ante este panorama, se plantea la necesidad de desarrollar e implementar un plan de mantenimiento basado en condición específicamente orientado a las válvulas con actuadores neumáticos para el área de cocinas en la cervecería de barranquilla. Este enfoque permitirá no solo anticipar posibles fallas mediante el monitoreo de variables críticas, buscando de esta manera disminuir en un 20% las fallas no programadas relacionadas con válvulas, además, disminuir la exposición del personal y alertar sobre el riesgo de válvulas con problemas físicos que puedan llevar pérdida de producto o lesiones. Con esto, se espera incrementar la confiabilidad de los equipos, mejorar la planificación de recursos de mantenimiento y fortalecer la gestión operativa de la planta.

Basado en lo anterior se define la siguiente pregunta problema que nos llevará al planteamiento del objetivo general: ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en condiciones de monitoreo de todas las válvulas de accionamiento neumático en el área de cocinas de la cervecería de barranquilla apalancará la reducción en un 20% el tiempo de paradas no programadas relacionadas con fallas en válvulas? La respuesta a este interrogante se busca resolver en el desarrollo del presente trabajo, cuyo propósito es diseñar una estrategia técnica utilizando una metodología de tipo descriptivo-analítico y enfoque mixto. La metodología incluyó actividades de campo, análisis de tiempos de parada,

verificación del funcionamiento de válvulas, verificación del MTTR por reparación de válvulas, el MTBF de fallas relacionadas con válvulas, aplicación de herramientas de visualización (GRAFANA), y trabajo en SCADAS y PLC. Se utilizará personal propio como recurso en la implementación y desarrollo para poder optimizar la operación de las válvulas en el área de cocinas de la cervecería de barranquilla.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en CBM a válvulas neumáticas en el área de cocinas de la cervecería de barranquilla de tal manera que se pueda reducir el tiempo de paradas de planta no programadas por válvulas en un 20%.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual del sistema de válvulas neumáticas en el área de cocinas, identificando los tiempos promedio de parada asociados.

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la condición (CBM), definiendo frecuencias, criterios de intervención y protocolos específicos para las válvulas neumáticas.

Proponer indicadores de desempeño (KPI) que permitan medir la efectividad del plan, con énfasis en la reducción de paradas no programadas y el aumento en la disponibilidad de las líneas de elaboración.

2. Estado del arte

2.1 Válvulas neumáticas

Los circuitos neumáticos están constituidos por los actuadores que efectúan el trabajo y por aquellos elementos de señalización y de mando que gobiernan el paso del aire comprimido, y por lo tanto la maniobra de aquellos, denominándose de una manera genérica válvulas. Estos elementos tienen como finalidad mandar o regular la puesta en marcha o el paro del sistema, el sentido del flujo, así como la presión o el caudal del fluido procedente del depósito regulador. Según su función las válvulas se subdividen en los grupos siguientes: 1. Válvulas de vías o distribuidoras 2. Válvulas de bloqueo 3. Válvulas de presión 4. Válvulas de caudal y de cierre. (Almandoz Berrondo et al., 2007)

Nosotros en este trabajo vamos a estar enfocados en el cuarto tipo de válvula que es de caudal y de cierre, debido a que estas son las que se utilizan en la planta. Dichas válvulas también se le conoce como de mariposa (Figura 1) y actualmente en la cocina de la cervecería tenemos instaladas 742 de dichas válvulas en diferentes partes del proceso.

Figura 1.

Válvula de mariposa con actuador neumático.



En los actuadores de estas válvulas se puede colocar un accesorio llamado K-Switch o indicador de posición (Figura 2) que permite instalar un sensor que nos indique la posición del actuador, es decir si se encuentra abierto o cerrado permitiéndonos tener una retroalimentación del estado de la válvula siempre. Un problema que nos encontramos allá también es el hecho de que muchas veces esta retroalimentación no funciona por alguna razón y nos impide saber si la válvula en realidad está funcionando correctamente algo que podemos identificar y atacar también con este plan. A dichas válvulas que no tienen retroalimentación las llamaremos como válvulas simuladas.

Figura 2.

Indicador de posición de los actuadores, también conocido como k-switch.



Estas válvulas son el corazón del proceso y sin ellas por cómo está actualmente la planta es imposible ser productivos por lo que es primordial atacar las posibles paradas no programadas antes de que ocurran y perjudiquen el proceso. Para atacar las posibles fallas en el presente trabajo nos vamos a centrar en los siguientes tipos de falla que se pueden presentar en una de estas válvulas:

- Falla de accionamiento: cuando la válvula no confirma apertura o cierre cuando se le da la orden.
- Tiempo de accionamiento muy largo: cuando pasan más de 10 segundos y la válvula no ha confirmado su apertura o cerrado.
- Falla de retroalimentación: válvula se encuentra simulada.

2.2 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo. Al igual que el análisis predictivo permite anticipar, por ejemplo, los movimientos de los mercados o las fluctuaciones en la demanda de energía, el mantenimiento predictivo utiliza el análisis de datos para adelantarse a los fallos de los sistemas y es parte fundamental del Internet Industrial de las Cosas (IIoT). (Iberdrola, 2022)

2.2.1 Mantenimiento basado en condiciones

El sistema basado en la condición es la unión de los mantenimientos proactivo y predictivo, genera mayor aporte en realización de tareas que prolonguen la vida útil de máquinas y equipos. El mantenimiento se consideraba como un mal inevitable que sucederá en cualquier momento y que tenía que afrontarse de cualquier manera, con la finalidad de que el parque automotor trabaje y genere producción sin pérdidas de ganancia. El CBM proporciona ganancias de productividad, genera recursos económicos y humanos en el área de mantenimiento según lo programe el sistema en funcionamiento. Poco a poco el sistema ha ingresado en distintas empresas industriales como ayuda de gran escala generando: orden de procesos, equipos o máquinas según la utilidad. (Ayala, 2018). Esta estrategia de mantenimiento es la mejor para aplicarle a las válvulas neumáticas debido

a que dichas válvulas se encuentran en el lado derecho de la bañera de Weibull por lo que fallan es al llegar completamente al desgaste por lo que un monitoreo de condiciones remoto nos permitirá anticiparnos a la falla y nos permitirá realizar una intervención programada e impactando negativamente lo menos posible a producción.

Nosotros en este trabajo vamos a utilizar las variables de confirmación de la válvula, el tiempo máximo de apertura y cierre de la válvula, si la válvula se encuentra simulada. Con todo esto calcularemos el % o relación de falla tomando la cantidad de veces que se le ha dado orden a una válvula para abrir o cerrar y se relaciona entre la cantidad de errores, esto para tener una mejor visual sobre el comportamiento de una válvula debido a que no es lo mismo que una válvula tenga 4 errores cuando se ha accionado 100 veces a una que tenga los mismos errores y se ha accionado 8 veces, es decir la segunda tiene un porcentaje o relación de falla del 50% mientras que la primera tiene un % de falla del 4% por lo que se puede ver cuál de las dos es la que realmente tiene un problema o inconveniente y se debe de atacar inmediatamente.

2.3 Grafana

Grafana es una conocida aplicación web multiplataforma y de código abierto para el análisis y la visualización interactiva. Proporciona gráficos, diagramas y alertas para la web cuando se conecta a fuentes de datos compatibles. Como herramienta de visualización, Grafana es un componente muy popular en las pilas de monitorización, que a menudo se utiliza en combinación con bases de datos de series temporales y plataformas de monitorización. En este trabajo, permite la vigilancia de los datos de los usuarios y además ya se tiene experiencia trabajando con ella en la planta. (Sierra-Fernández et al., 2021).

2.4 Scada

SCADA son las siglas de «Supervisory Control and Data Acquisition» (Control de supervisión y adquisición de datos). Se trata de un sistema de control que utiliza ordenadores, comunicaciones de datos en red e interfaces gráficas hombre-máquina (HMI) para gestionar y controlar procesos industriales. Los sistemas SCADA se comunican con otros dispositivos, como controladores lógicos programables (PLC) y controladores PID, para interactuar con plantas y equipos de procesos industriales. (Muthukrishnan, 2019). Los sistemas SCADA se pueden dividir en 4 partes que serían el sistema o control de supervisión que es la parte fundamental y es donde interactúa el operador, la parte encargada de adquirir los datos, la parte que se encarga de almacenar los datos y una parte encargada de compartir esos datos. (Alanazi et al., 2023).

2.4.1 Braumat

En planta vamos a interactuar con un SCADA antiguo, pero, diseñado especialmente para cervecías por la compañía Siemens (Springer, 1978), dicho sistema llamado braumat es un SCADA completo en el sentido que las 4 partes en los que se dividen los SCADA braumat las tiene embebidas y ya totalmente configuradas por lo que permite una aplicación y desarrollo muchísimo más fácil aparte de que está diseñado especialmente para las cervecías por lo que facilita mucho más su aplicación. De acá es de donde vamos a recopilar toda la información necesaria para poder monitorear lo que queremos.

3. Metodología

En esta monografía vamos a utilizar un enfoque aplicado, descriptivo, y cuantitativo orientado para el diseño de un plan de mantenimiento con estrategia de frecuencia semanal y basado en condiciones para las válvulas neumáticas del área de cocinas. La metodología será dividida en 4 etapas.

3.1 Etapa 1. Levantamiento de válvulas

En esta etapa lo que buscamos es poder identificar el total de las válvulas neumáticas activas actualmente en el proceso de cocinas, se realizará un inventario de las válvulas identificando las características técnicas y su ubicación en el proceso para luego eso nos ayude en las jerarquización o clasificación de estas. Se utilizará los diagramas P&ID de planta y entrevistas con personal de mantenimiento y operación.

De esta etapa vamos a tener un entregable a producción y mantenimiento de una tabla de caracterización de las válvulas por lo cual nos permitirá tomar decisiones más adelante, una parte de dicha tabla la podemos ver en la Figura 3.

Figura 3.

Tabla de caracterización válvulas con el estado de cada una.

TAG	PROCESO	TIPO DE VALVU	ACTUADOR	FLUIDO	SIMULACIÓN
02_99_05XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_05XV13	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_05XV02	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_05XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_11XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_11XV04	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_05XV06	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_05XV09	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_05XV14	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_06XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_06XV13	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_06XV02	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_06XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_06XV09	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_06XV14	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_07XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_01XV07	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_01XV06	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_01XV08	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_01XV05	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_01XV09	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_01XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_01XV02	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_01XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI
02_99_01XV04	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO
02_99_01XV10	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO

En la Figura 3. Podemos ver la tabla de caracterización que nos permitirá tener una base de información relevante de las 742 válvulas que tenemos en la cocina lo cual nos permitirá pasar a la siguiente etapa y empezar a clasificar aquellas válvulas que debemos tener mayor cuidado en la implementación del plan de mantenimiento.

3.2 Etapa 2. Análisis de criticidad de los activos

En esta etapa buscamos jerarquizar que válvulas requieren mayor atención dentro del plan de mantenimiento para que de esta manera nos ayude a enfocar los limitados recursos que tenemos en gestionar la solución de los activos que mayor impacto negativo nos pueden generar si llegan a fallar. Utilizaremos la matriz de caracterización obtenida en la etapa anterior y vamos a añadirle 2 filas en la cual una será la relación de falla que estaremos graficando en Grafana y la otra será una fórmula de criticidad que será el producto de la consecuencia por un índice de falla. Dicho índice de falla será obtenido de la relación de falla, dicha relación la calcularemos con la siguientes formula y la veremos en tiempo real en Grafana al obtener los datos de Braumat:

$$\% \text{ de Falla} = \frac{\text{numero de accionamientos}}{\text{numero de errores de confirmacion}}$$

Con esto nos permitiremos saber si una válvula que fue accionada para abrir cierta cantidad de veces cuantas veces me falló por x o y motivo la confirmación. Se escoge calcularlo de esta manera porque nos permite tener una mayor visual sobre las válvulas que más han fallado según cantidad de veces que se ha necesitado utilizar porque no es lo mismo una válvula que se ha accionado 100 veces y que ha fallado 10 a una que se accionó 20 y ha fallado las mismas 10 veces, con esta información se tomará como plan de choque y prioritario desmontar y revisar todas aquellas válvulas que tengan una relación de error mayor al 20% primeramente y a medida de que pase el tiempo ese porcentaje se irá reduciendo para así enfocarnos solamente en aquellas válvulas.

Luego de tener ese % de falla lo vamos a comparar para obtener el índice de falla el cual lo podemos ver en la Tabla 1.

Tabla 1.

Índice de falla

% de falla	Puntuación
0 – 5%	1
5 – 10%	2
10 - 15%	3
15 - 20%	4
>20%	5

Siguiendo con la fórmula de criticidad

$$\text{Criticidad} = \text{consecuencia} \times \text{Índice de falla}$$

Consecuencia la definiremos de la siguiente manera:

$$\text{Consecuencia} = \text{Seguridad} + \text{Calidad} + \text{Produccion}$$

En donde cada criterio será evaluado como se ve en la Tabla 2. Por lo tanto, nuestra formula quedaría de la siguiente manera:

Tabla 2.*Criterios de consecuencia*

Criterio	Escala
Impacto a seguridad	1 a 5
Impacto a calidad	1 a 5
Impacto a producción	1 a 5

En donde,

1 = Bajo

2 = Medio

3 = Alto

Por lo tanto, continuando con la formula;

$$Criticidad = (Seguridad + Calidad + Produccion) \times Indice\ de\ falla$$

No obstante, realizando los avances y en las charlas con el personal tanto de mantenimiento como producción, se decidió que a esta fórmula le vamos a hacer una modificación para priorizar lo que es seguridad y calidad debido que es de una importancia mayor la seguridad del personal de mantenimiento u operativo y la calidad del producto que la producción, por lo que la formula quedaría de la siguiente manera:

$$Criticidad = (0.40Seguridad + 0.35Calidad + 0.25Produccion) \times Indice\ de\ falla$$

Con esta fórmula el valor máximo posible es de 25 por lo cual para definir el nivel de criticidad vamos a dividir porcentualmente el valor máximo y clasificarlo según el resultado como podemos ver en la tabla número 3.

Tabla 3.*Niveles de criticidad.*

% Valor máximo	Índice	Nivel
0 – 30%	0 – 7.5	Bajo
>30 – 60%	>7.5 – 15	Medio
>60 – 80%	>15 – 20	Alto
>80 – 100%	>20 – 25%	Muy alto

Luego de obtener los valores de criticidad de todas las válvulas que anteriormente habíamos inventariado esto lo agregamos a la tabla de caracterización y vamos a tener de primero todas aquellas válvulas que serán de una criticidad muy alta y las cuales vamos a realizar ordenes de mantenimiento e intervenir inmediatamente como plan de choque para posteriormente realizar intervenciones según el plan de mantenimiento.

3.3 Diseño del plan de mantenimiento basado en condición

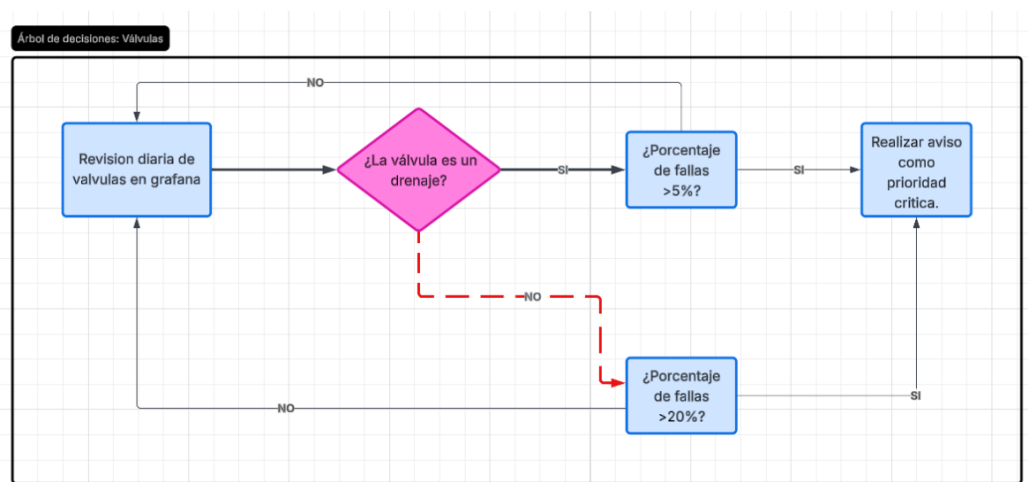
El objetivo en esta etapa es diseñar el plan de mantenimiento basado en condición que nos permita anticipar el deterioro del funcionamiento correcto de las válvulas neumáticas al monitorear en tiempo real y continuo el comportamiento diario de las válvulas.

A partir de la experiencia operativa y de mantenimiento además de la revisión de avisos, ordenes de mantenimiento antiguas, e inspecciones en campo se estableció un plan de mantenimiento enfocado en el seguimiento diario de la relación entre cantidad de veces accionada una válvula y la cantidad de veces que falló, con esto queremos sustituir parcialmente la estrategia de mantenimiento basada en un tiempo fijo a una basada en el comportamiento real del activo.

Se definieron umbrales de intervención según el tipo de válvula que nos permita detectar tendencias de degradación antes de que ocurra una falla funcional. En la figura 4 podemos observar cómo se definió la toma de decisión según los porcentajes de falla, sin embargo, estos umbrales no son permanentes y a medida que se vaya implementando el plan podemos tener variación positiva o negativa según vayamos obteniendo resultados.

Figura 4.

Flujograma de decisiones según el tipo de válvula o criticidad.



3.4 Definición de indicadores de gestión.

En esta etapa el objetivo es claramente establecer unos indicadores que nos permitan ver la efectividad real del plan de mantenimiento no solamente en papel sino en piso planta, teniendo un impacto positivo en confiabilidad, disponibilidad y desempeño de los activos.

Se han definido 4 indicadores claves o KPI que nos permitirán ver a primera mano el rendimiento del plan, la información requerida para calcularlos será obtenida de SAP y Suite 360.

3.4.1 Disponibilidad Operacional

Este indicador nos mostrará el porcentaje de tiempo en que el proceso se encuentra apto y funcional dentro del proceso productivo sin ninguna afectación por válvulas y será calculado de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \left(\frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo operativo} + \text{Tiempo fuera de servicio}} \right) \times 100$$

La meta es tener una disponibilidad superior al 98%

3.4.2 Tiempo medio entre fallas (TMEF)

Este indicador corresponde al tiempo promedio entre una falla presentada por válvula y la siguiente, nos permite ver el nivel de confiabilidad que tenemos con las válvulas y lo calcularemos de la siguiente manera:

$$TMEF = \frac{\text{Tiempo total de operacion}}{\text{Numero de fallas}}$$

La meta es ir aumentando progresivamente el tiempo entre fallas a medida que va pasando el año.

3.4.3 Mantenibilidad

Este indicador nos permitirá obtener el tiempo medio gastado en la reparación o restauración del proceso después de una falla de válvula, lo mediremos de la siguiente manera:

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Numero de fallas}}$$

La meta es ir disminuyendo los tiempos de intervención al tener una detección temprana de las condiciones de deterioro

3.4.4 Adherencia al plan de mantenimiento

Por último, tenemos un indicador de gestión que nos permitirá verificar el grado de ejecución real de las actividades de monitoreo y de avisos derivados del plan de mantenimiento y se medirá de la siguiente forma:

$$\text{Adherencia (\%)} = \frac{\text{Inspecciones ejecutadas}}{\text{Inspecciones programadas}} \times 100$$

La meta será la de mantener un cumplimiento igual o superior al 95%

Con la medición periódica y revisión en la rutina semanal del equipo administrativo de mantenimiento permitirá obtener y ejecutar oportunidades de mejora, facilitará la toma de decisiones y verificar realmente si está funcionando o no al ver la reducción de fallas asociadas a válvulas.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos se definió de esta metodología de 4 etapas que acabamos de desarrollar la cual nos permite hacer un recorrido desde campo al iniciar con la caracterización de todos los activos hasta terminar en una etapa mucho más administrativa como lo es la gestión de indicadores, por lo que a manera de facilidad en la siguiente tabla (Tabla 4) vamos a ver un resumen de la metodología aplicada.

Figura 5.

Cuadro con el resumen de la metodología implementada.

Etapa	Objetivo	Herramientas	Actividades principales	Entregable
Caracterización de activos	Identificar y documentar las características técnicas y operativas de las válvulas del área de cocinas.	Inspecciones en campo, PI&D, experiencia de personal, manuales	Recopilación de información	Tabla de caracterización de válvulas neumáticas.
Análisis de criticidad	Determinar válvulas críticas y clasificar por criticidad	Experiencia de personal	Evaluación individual de cada activo en términos de seguridad, calidad e impacto productivo	Clasificación de válvulas según criticidad
Diseño de plan de mantenimiento	Establecer estrategia de monitoreo y plan de respuesta	Inspecciones en campo, experiencia personal, benchmarking	Definición de umbrales de avisos y plan de acción según los umbrales	Plan de mantenimiento basado en condición creado en SAP
Definición de indicadores	Evaluar efectividad del plan mediante indicadores de gestión	Benchmarking con cervecerías hermanas	Propuesta de indicadores, cálculo de ellos y metas asignadas	Cuadro de indicadores de gestión.

4. Resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación orientada al diseño de un plan de mantenimiento basado en condición (CBM) para las válvulas neumáticas del área de cocinas de la Cervecería de Barranquilla se encuentran organizados de acuerdo con las etapas

metodológicas definidas y los objetivos específicos planteados al inicio del estudio. Inicialmente arrancamos con un inventario completo de las características principales de todas las válvulas que posteriormente con las estrategias de criticidad pudimos obtener un diagnóstico completo (Figura 6) que nos permitió tomar las decisiones rápidas para eliminar las condiciones más críticas que teníamos en la operación.

Figura 6.

Cuadro con la caracterización de válvulas y su criticidad calculada.

TAG	PROCESO	TIPO DE VALVULA	ACTUADOR	FLUIDO	SIMULACION	INDICE DE FALLA	SEGURIDAD	CALIDAD	PRODUCCION	CRITICIDAD
02_99_06XV02	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	5	2	21,25
02_99_01XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	5	5	5	2	21,25
02_99_01XV21	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	5	2	21,25
02_99_07XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	5	1	20
02_99_01XV05	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	5	5	5	1	20
02_99_05XV02	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	4	1	18,25
02_99_05XV14	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	5	5	4	1	18,25
02_99_05XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	3	2	17,75
02_99_11XV04	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	3	2	17,75
02_99_06XV13	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	4	5	5	2	17
02_99_06XV14	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	4	5	5	2	17
02_99_01XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	4	5	5	2	17
02_99_01XV10	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	4	5	5	2	17
02_99_11XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	3	1	16,5
02_99_05XV06	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	5	5	3	1	16,5
02_99_05XV01	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	4	5	4	1	14,6
02_99_06XV03	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	3	5	5	2	12,75
02_99_01XV09	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	SI	3	5	5	2	12,75
02_99_01XV04	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	3	5	5	2	12,75
02_99_01XV07	CIP	MARIPOSA	DOBLE EFECTO	QUIMICOS	NO	3	5	5	1	12

A partir de los hallazgos obtenidos de la caracterización y clasificación crítica de todas las válvulas, se diseñó una propuesta de mantenimiento preventivo basado en condición para evitar llegar nuevamente a un deterioro masivo en todas las válvulas del área de cocinas, dicho plan incorpora criterios de monitoreo, frecuencias de intervención y protocolos de inspección orientados a anticipar las fallas funcionales utilizando Grafana como principal herramienta para verificar en tiempo real y diariamente el comportamiento de todas las válvulas del área de cocinas con la facilidad de solamente hacerlo al tener disponible un computador.

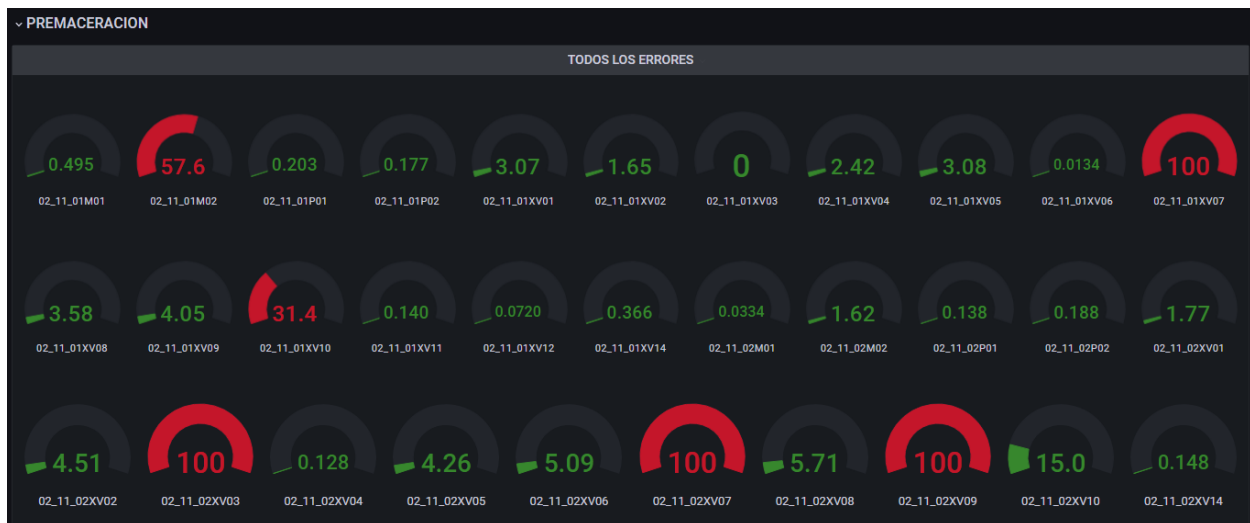
En la figura 6 y 7 podemos observar ya el dashboard en Grafana terminado completamente y funcional el cual utilizaremos para la monitorización de las variables.

Figura 7.

Dashboard en Grafana segregado por área.

**Figura 8.**

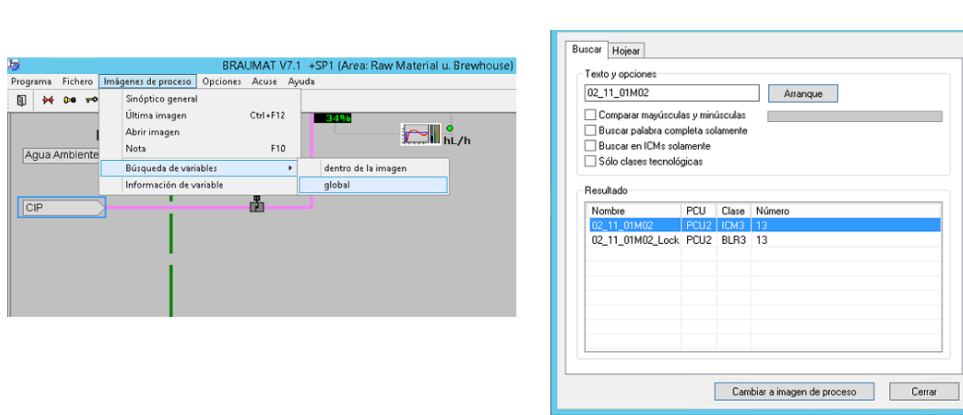
Interior de cada segregación.



Podemos observar inmediatamente que con la configuración visual de colocar que el dashboard cambie de color según el porcentaje de relación de falla es una facilidad completa para que el técnico solamente visualice y realice los avisos necesarios según la criticidad. Otra ventaja que podemos observar es que como esto se encuentra enlazado a Braumat, los tags de las válvulas en Grafana son una réplica de los tags en el scada por lo que nos permite realizar una búsqueda muy fácilmente dentro del sistema (Figura 9) y de esta manera se nos haga más fácil encontrar físicamente la válvula.

Figura 9.

Búsqueda manual de tag de válvulas dentro de Braumat.



Con estos dashboard se creará un plan de mantenimiento de frecuencia semanal en SAP (Figura 10) el cual es el CMMS utilizado en planta, dicho plan saldrá como puesto de trabajo responsable el de un especialista el cual simplemente con un computador con acceso a la red industrial dedicará 1 hora del turno para realizar la supervisión total del área y creación de avisos de intervención de ser necesario.

Figura 10.

Plan de mantenimiento en SAP.

Modificar posición mantenimiento: Pos.manten. 000000000036673

Pos.mantenimiento: 36673 1W CBM INSPECCIONES VALVULAS GRAFANA

Estrategia: DIASPM PLAN POR DIAS CALENDARIO

Tp.plan manten.: Orden de mantenimiento preventivo

Posición | Lista objeto posición | Emplazamiento posición

Objeto de referencia

Ubic.técn.: AG01-PROCER-ADT_0... REDES INTERNAS SERVICIOS COCINAS

Equipo: 1002092 RED INSTRUMENTACION Y CONTROL COCINAS

Conjunto:

Datos de planificación

Centro planif.: AG01 Barranquilla Grupo planif.: 100 Mto Elaboración

Clase de orden: 2074 OT Mantenimiento Predictivo Clase actividad PM: 204 Inspeccionar y/o Ajustar

Pto.tbjo.resp.: ESPENAEEL / AG01 ESPECIALISTA MANTE División:

Prioridad: Media Norma de liquidación:

Doc.ventas:

Hoja de ruta para mantenimiento

Tp.: GrHRuta CGHR Descripción

A / 1091 / 1 1W I/F CBM INS VALVULAS EN GRAFANA

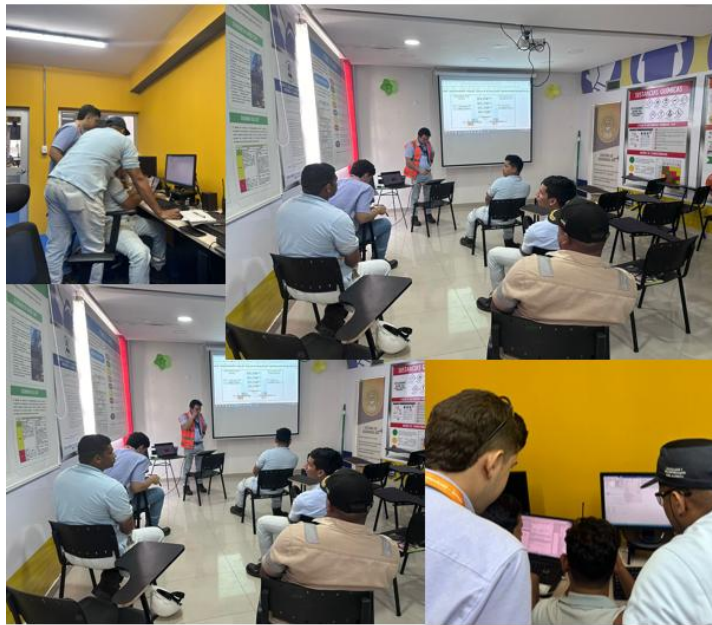
Plan mantenimiento preventivo asignado

Plan mant.prev.: 19353 1W CBM INS REVISION GRAFANA VALVULAS

Para asegurar que todos los técnicos y operadores pudieran sacar el máximo provecho y mejorar el sistema se realizaron unas series de charlas (Figura 11) donde se exponían los casos y se mostraba la estrategia que se iba a utilizar para mejorar la confiabilidad de los sistemas de válvulas en la cocina. La estrategia fue bien recibida por parte del equipo de mantenimiento y producción tanto operativo como administrativo.

Figura 11.

Divulgaciones realizadas.



Finalmente, se definieron 4 indicadores (Figura 12) clave de desempeño (KPI) para el seguimiento de la estrategia propuesta y el plan de mantenimiento, permitiendo evaluar su impacto sobre la confiabilidad de las válvulas neumáticas, la disponibilidad operacional de las líneas de elaboración y la reducción de paradas no programadas, como también el porcentaje de ejecución de las actividades programadas por el plan.

Figura 12.

Cuadro con el resumen de los indicadores claves.

Indicador	Objetivo	Meta
Disponibilidad	Verificar el tiempo real en que el proceso se encontrará disponible y funcional sin ninguna afectacion por valvulas	>98%
Tiempo medio entre fallas	Nos permite ver la confiabilidad de las fallas de valvulas	Ir en aumento
Mantenibilidad	Disminuir los tiempos de intervencion al anticipar el deterioro de los activos	Ir disminuyendo
Adherencia al plan de mtto	Nos permite ver el grado de ejecucion de las inspeccion del plan de mantenimiento	>95%

Por último, tomando como referencia el mes de mayo del 2025 como el inicio de la implementación temprana de las inspecciones con Grafana y de la creación del plan de mantenimiento podemos observar que de los datos obtenidos de Suite 360 las fallas mas representativas de mayo 2024 a mayo 2025 (Figura 13) y de mayo 2025 a mayo 2026 (Figura 14) son de válvulas de las cuales todavía podíamos haber previsto o precedido con anterioridad su deterioro. A pesar de la mejoría que se vio se perdieron 9 horas por unas válvulas con pase interno que en el monitoreo no se lograron ver debido a que externamente funcionaban correctamente por lo que esto nos permite ver que aún tenemos oportunidades de mejora sobre cómo podemos agregar más variables para tener mayor campo de revisión. Podemos observar también como a pesar de tener casi la misma cantidad de fallas (Figura 15) en el año estudiado la reducción de tiempos perdidos (Figura 16) fue de un 32% por lo que a lo que más impactamos fue en la mantenibilidad de las válvulas debido al monitoreo que nos permitió a pesar de tener la misma cantidad de fallas una resolución de los problemas muchísimo más rápida.

Figura 13.

Fallas y paradas de línea por problemas con válvulas. 2024-2025

Parada	Duración (Hrs)	Tipo Equipo	Comentario
Mechanical - Mecánica	6,583	OLLA DE MEZCLAS	Se abre espacio para intervenir la válvula 01XV08 salida de olla de mezclas para MFL1
Mechanical - Mecánica	5,833	BASCULA DE MALTA	Válvula DN 125 cerca del UT 13 presenta retardo en la apertura (posible daño en actuador)
Automation - Automatización	3,050	LINEA POSTENFRIADOR - BLOQUE DE VALVULAS CAVA	Se presenta falla en la apertura de válvulas de enfriamiento de mosto y recibo en lv de mosto
Mechanical - Mecánica	2,867	MASH FILTER	Bajo flujo de riego por falla en válvula de salida
Instrumentation - Instrumentación	2,783	PRECALENTADOR DE MOSTO	Fallo con apertura de válvula (actuador con pase) de entrada precalentador L1
Instrumentation - Instrumentación	2,050	OLLA DE MEZCLAS	ATRAZO PARA BAJAR LO COCIMIENTOS POR LINEA 2 PROBLEMAS EN VALVULA DE DRENJE EN LINEA 1
Instrumentation - Instrumentación	1,883	PRECALENTADOR DE MOSTO	Olla de mezcla ocupada con el cocimiento S13 debido a falla en la válvula 02xv01 del precalentador
Mechanical - Mecánica	1,833	BLOQUE DE VALVULAS MOSTO	Problemas con válvulas del cip de enfriamiento
Automation - Automatización	1,833	OLLA DE MEZCLAS	Represamiento por cruce de pesaje y falla en bloque de válvula olla de mezclas línea 1
Mechanical - Mecánica	1,750	MASH FILTER	Cambio de actuador válvula de entrada superior mash filter L1 y cambio de placa ciega con fuga
Mechanical - Mecánica	1,733	OLLA COCCION	trabajo de empalme del drenaje fx preisomertizado y mto. a válvulas de la olla
Mechanical - Mecánica	1,450	BOMBA A OLLA COCCION	VALVULA DE DRENAJE DANADA
Instrumentation - Instrumentación	1,450	PRECALENTADOR DE MOSTO	Se tiene tiempo extendido de calentamiento en olla de cocción L1 por falla en apertura válvula de entrada de vapor a precalentador de mosto.
Instrumentation - Instrumentación	1,450	PRECALENTADOR DE MOSTO	VALVULA DE ENTRADA DE VAPOR AL CALENTADOR NO ESTABA ABRIENDO
Instrumentation - Instrumentación	1,450	SISTEMA MOLIENDA DE MALTA	Se tiene retraso en cargue por daño en la válvula reguladora de vapor del precalentador línea 1
Mechanical - Mecánica	1,433	SISTEMA MOLIENDA DE MALTA	Se cruza cargue por espacio que se abre en L1 para intervenir válvula de trasiego olla de mezclas hacia MFL1.

Figura 14.

Fallas y paradas de línea por problemas con válvulas. 2025-2026

Parada	Duración (Hrs)	Tipo Equipo	Comentario
Mechanical - Mecánica	9,417	BOMBA A OLLA COCCION	Intervención válvulas trilizas. entrada de agua por fallas y pase. aseo cip olla de cocción
Mechanical - Mecánica	3,050	BLOQUE DE VALVULAS MOSTO	Falla apertura de válvula U2
Mechanical - Mecánica	2,983	OLLA COCCION	Cambio de válvula 02xv14 salida olla de coccion a wirpoll
Mechanical - Mecánica	2,667	SISTEMA DOSIFICACION DE LUPULO	Retraso por montaje de bomba dosificadora de lúpulo esto retrasa el cip de la olla cambio de válvula reguladora de aire mash filter.
Mechanical - Mecánica	2,600	OLLA COCCION	Válvula de entrada vapor hacia olla de cocción presenta daño en el diafragma
Instrumentation - Instrumentación	2,250	OLLA DE ADJUNTOS	demora en etapas de calentamiento por daño en válvula de vapor
Instrumentation - Instrumentación	2,250	OLLA DE ADJUNTOS	demora en etapas de calentamiento por daño en válvula de suministro de vapor
Instrumentation - Instrumentación	1,967	OLLA DE ADJUNTOS	posicionador de válvula reguladora de vapor no accionaba
Mechanical - Mecánica	1,917	OLLA DE ADJUNTOS	Válvula de suministro de vapor restringida. demoro para subir a 77 grados
Mechanical - Mecánica	1,583	SISTEMA EVACUACION DE AFRECHO - SILO DE AFRECHO	problemas en válvula de entrada del silo de afrecho L1
Mechanical - Mecánica	1,133	PREMASH DE MALTA	atrazo para bajar este cocimiento por problemas en válvula de salida del premacerador de malta
Mechanical - Mecánica	1,000	MASH FILTER	Válvula media olla de whirpool 1 no abrió completamente y forzó la pp4 a 100%
Mechanical - Mecánica	0,917	MASH FILTER	daño en válvula reguladora de aire. compresiones deficientes. Se realiza cambio de válvula por parte de mantenedor
Instrumentation - Instrumentación	0,750	Molienda	cruce de cocina por fallas en válvula reguladora de aire del filtro línea2
Automation - Automatización	0,750	SOFTWARE DE CONTROL DE RECETAS	VALVULA DE ENTRA AL TK U17 PRESENTA FALLA DE APERTURA

Figura 15.

Resumen de los tiempos perdidos en mayo 2024 a mayo 2026.

MAYO 2024 A MAYO 2025		
Etiquetas de fila	Suma de Duración (Hrs)	Cuenta de Parada
AG01 - Barranquilla	56,500	37
Línea - 01	30,117	18
Línea - 02	26,383	19
Total general	56,500	37

MAYO 2025 A MAYO 2026		
Etiquetas de fila	Suma d	Cuenta de Parada
AG01 - Barranquilla	42,900	34
Línea - 01	13,583	16
Línea - 02	29,317	18
Total general	42,900	34

Figura 16.

Evolución de los tiempos perdidos e indicadores desde mayo 2024 a mayo 2026.

MAYO 2024 A MAYO 2025		
TIEMPO COCINAS PROGRAMADO	5760	HORAS
TIEMPO PERDIDO POR FALLAS EN VALVULAS	56,5	HORAS
TMEF	155,68	HORAS
DISPONIBILIDAD	99,03%	
MANTENIBILIDAD	1,5	HORAS
LINEA PARETO	LINEA 1	

MAYO 2025 A MAYO 2026		
TIEMPO COCINAS PROGRAMADO	5760	HORAS
TIEMPO PERDIDO POR FALLAS EN VALVULAS	42,9	HORAS
TMEF	169,41	HORAS
DISPONIBILIDAD	99,26%	
MANTENIBILIDAD	1,3	HORAS
LINEA PARETO	LINEA 2	
MEJORA CON RESPECTO AÑO ANTERIOR	32%	

5. Conclusiones

5.1 Conclusión 1, objetivo específico 1

Se logró realizar un diagnóstico y clasificación de las 742 válvulas del área de cocinas encontrando que las fallas funcionales de las válvulas se ven reflejado por el deterioro forzado de las empaquetaduras internas y/o por actuadores con pase que a su vez se evidencia en la demora de apertura y cierre o en su defecto en la falla de retroalimentación por lo que esto nos dio la variable clave a monitorear para anticipar todas aquellas válvulas que se encuentren cerca a la falla. Muy valiosa esta primera parte debido a que nos permitió tener la variable a monitorear y también atacar aquellas válvulas que estaban clasificadas con muy alta criticidad para luego dedicarnos a mantener en buen estado las demás con el funcionamiento del plan.

5.2 Conclusión 2, objetivo específico 2

El plan de mantenimiento basado en condición diseñado es simple y fácil de ejecutar por lo que permite tener un control rápido y una toma de decisión eficiente para ejecutar sin necesidad de impactar negativamente la producción, además, vamos a utilizar una herramienta totalmente gratuita y sin necesidad de comprar ninguna herramienta diferente a los recursos ya utilizados normalmente en planta.

5.3 Conclusión 3, objetivo específico 3

Los 4 indicadores claves propuestos para llevar proporcionan una herramienta objetiva para la medición de la efectividad de la estrategia propuesta y seguir tomando decisiones para la mejora continua con datos.

5.4 Conclusión general

Se logró diseñar un plan de mantenimiento basado en condición eficiente y eficaz el cual constituye una alternativa técnicamente viable y sencilla para la disminución de las paradas no programadas relacionadas con válvulas neumáticas en el área de cocinas, el plan permitió identificar oportunamente el deterioro de los activos, optimizar la planeación de la intervención y contribuir en una disminución del 32% del tiempo de paradas no programadas, valor el cual supera por 12 el propuesto por lo que nos indica que la implementación disciplinada del plan y la mejora continua nos da un potencial muy grande para la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

6. Recomendaciones

- Agregar histórico del tiempo de apertura de las válvulas en Grafana.
- Agregar condición de simulación en Grafana para tener otra variable a corregir.
- Revisar constantemente los umbrales de intervención definidos en el plan.
- Empezar a clasificar grupos de válvulas para determinar diferentes tipos de mantenimientos.
- Realizar seguimiento de los indicadores en la rutina semanal del equipo de mantenimiento.
- Migrar el plan de mantenimiento hacia las otras áreas de elaboración.

7. Referencias Bibliográficas

- Alanazi, M., Mahmood, A., & Chowdhury, M. J. M. (2023). SCADA vulnerabilities and attacks: A review of the state-of-the-art and open issues. In *Computers and Security* (Vol. 125). <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103028>
- Almandoz Berrondo, J., Mongelos Oquiñena, B., & Pellejero Salaberria, I. (2007). Sistemas Neumáticos Y Oleohidráulicos. *Neumática y Electroneumática Cap-4, Válvulas Neumáticas*.
- Ayala, J. (2018). Aplicación del sistema de mantenimiento basado en condiciones (CBM), para vehículos y maquinaria pesada del área automotriz del GAD municipal de Tulcán. *Universidad Técnica Del Norte*, 102.
- Camacho-Gavilanes, J., & Orquera-Noboa, G. (2021). Algoritmo para priorizar la planificación del mantenimiento en alimentadores de distribución de energía eléctrica basado en condiciones de confiabilidad. *CIENCIA UNEMI*, 14(36). <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss36.2021pp58-72p>
- Dueñas-Ramírez, L. M., Villegas-López, G. A., Castiblanco-Tique, S., & Castaño-Restrepo, C. A. (2021). Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas. *Actas Del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas 2020: Construyendo Un Mundo Inteligente Para La Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.26439/ciis2020.5508>
- Iberdrola. (2022). *Mantenimiento Predictivo: Qué es, características y ejemplos - Iberdrola*. Mantenimiento Predictivo.
- JIMENEZ VARGAS, G., & ENDARA VELEZ, I. D. (2022). Mantenimiento óptimo basado en condición para un generador sincrónico utilizando algoritmo predictivo de desgaste

de equipos. *CIENCIA UNEMI*, 15(40). <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp26-37p>

Muthukrishnan, V. (2019). SCADA: What is it? (Supervisory Control and Data Acquisition) | Electrical4U. <https://www.Electrical4U.Com/>.

Sierra-Fernández, J. M., Florencias-Oliveros, O., Espinosa-Gavira, M. J., González-De-La-Rosa, J. J., Agüera-Pérez, A., & Palomares-Salas, J. C. (2021). Online system for power quality operational data management in frequency monitoring using python and grafana. *Energies*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/en14248304>

Springer, H. (1978). BRAUMAT - AN AUTOMATION SYSTEM FOR BREWERIES. *Siemens Rev*, 45(8).