

Diseño e implementación de una estrategia de Mantenimiento Profesional bajo el enfoque WCM, integrada con un sistema CMMS y la metodología History QC, orientada a incrementar la confiabilidad en los sistemas de vacío y servicios de una planta de producción de Omega.

Deiner Alberto Sánchez Dávila

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

Director

Ing. Roberto Castilla Gutiérrez

Especialista en Gerencia en Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mis padres, por su ejemplo, sus enseñanzas y por ser el pilar fundamental en mi formación.

A mi esposa e hijos, por su comprensión, apoyo y sacrificio durante este proceso, siendo mi mayor motivación para seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad, la fortaleza y la constancia para culminar esta etapa de formación.

A mis padres, por su apoyo incondicional y por inculcarme los valores que han sido fundamentales en mi desarrollo personal y profesional.

A mi esposa e hijos, por su paciencia, comprensión y sacrificio durante este proceso, siendo un apoyo constante en cada momento.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y orientar este trabajo académico, contribuyendo a mi crecimiento como profesional.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma aportaron a la realización de este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	10
2. Objetivos	12
2.1.Objetivo General	12
2.2.Objetivos Específicos	12
3. Marco teórico y estado del arte.....	13
3.1.Enfoque de mantenimiento en la industria moderna.....	13
3.2 Metodología World Class Manufacturing (WCM).....	13
3.3 Pilar de mantenimiento profesional	14
3.4 Sistemas CMMS.....	14
3.5 Metodología History QC	15
3.6 Confiabilidad operacional	15
3.7 Sistemas de vacío	15
3.8 Integración de metodologías.....	16
4. Hipótesis.....	17
5. Materiales y método	18
6. Resultados esperados.....	21
7. Conclusión del plan	22
8. Recomendaciones	23
Referencias Bibliográficas.....	24

Lista de tablas

<u>Tabla 1. Indicadores esperados de desempeño</u>	22
---	-----------

Glosario

CMMS (Computerized Maintenance Management System):

Sistema computarizado de gestión del mantenimiento que permite planificar, programar, ejecutar y controlar las actividades de mantenimiento, así como gestionar información histórica de los activos.

Confiabilidad:

Capacidad de un equipo o sistema para operar sin fallas durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones específicas.

Criticidad de equipos:

Clasificación de los equipos según su impacto en la operación, considerando factores como seguridad, producción, costos y frecuencia de fallas.

Disponibilidad operacional:

Indicador que mide el porcentaje de tiempo en que un equipo está disponible para operar respecto al tiempo total considerado.

Falla:

Evento en el cual un equipo o sistema pierde la capacidad de cumplir la función para la cual fue diseñado.

Falla repetitiva:

Falla que ocurre de manera recurrente en un equipo, generalmente asociada a causas raíz no eliminadas.

History QC:

Herramienta utilizada en el enfoque WCM para el análisis histórico de fallas, que permite identificar patrones, causas raíz y oportunidades de mejora en los equipos.

Indicadores de mantenimiento:

Métricas utilizadas para evaluar el desempeño del área de mantenimiento, tales como disponibilidad, MTBF, MTTR y cumplimiento del mantenimiento planificado.

Mantenimiento correctivo:

Tipo de mantenimiento que se realiza después de la ocurrencia de una falla con el objetivo de restablecer la operación del equipo.

Mantenimiento preventivo:

Conjunto de actividades programadas que se realizan para prevenir la ocurrencia de fallas en los equipos.

Mantenimiento predictivo:

Estrategia de mantenimiento basada en la monitorización de condiciones del equipo para anticipar fallas antes de que ocurran.

Mantenimiento profesional (WCM):

Pilar del modelo WCM enfocado en la eliminación de fallas crónicas, mejora de la confiabilidad y optimización del desempeño de los equipos mediante análisis estructurado.

MTBF (Mean Time Between Failures):

Tiempo promedio entre fallas de un equipo, utilizado como indicador de confiabilidad.

MTTR (Mean Time To Repair):

Tiempo promedio requerido para reparar un equipo y devolverlo a condiciones operativas.

Orden de trabajo (OT):

Documento o registro dentro del sistema de mantenimiento que describe las actividades a realizar sobre un equipo.

Parada no programada:

Interrupción de la operación de un equipo que no estaba prevista dentro del plan de mantenimiento.

Sistema de vacío:

Conjunto de equipos y componentes diseñados para generar y mantener presiones inferiores a la atmosférica en un proceso industrial.

WCM (World Class Manufacturing):

Metodología de mejora continua orientada a la eliminación de pérdidas y al logro de niveles de desempeño de clase mundial en los procesos productivos.

Resumen

Título: Diseño e Implementación del pilar de mantenimiento profesional WCM integrando CMMS y History QC en sistemas de vacío.

Autor: Deiner Alberto Sánchez Dávila.

Palabras Clave: WCM, CMMS, History QC, mantenimiento, confiabilidad, sistemas de vacío.

Descripción: El presente trabajo desarrolla la implementación del pilar de mantenimiento profesional bajo el enfoque de World Class Manufacturing (WCM), integrando un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) y la herramienta History QC, con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los sistemas de vacío en una planta de producción de omega 3.

Inicialmente, se realiza un diagnóstico del estado actual del mantenimiento, identificando fallas recurrentes y evaluando indicadores clave como el MTBF, MTTR y la disponibilidad operacional. A partir de este análisis, se evidencia una alta incidencia de fallas repetitivas asociadas a los sistemas de vacío, lo que afecta la continuidad operativa del proceso.

Posteriormente, se aplica la metodología History QC para analizar las fallas desde una perspectiva histórica, permitiendo identificar patrones de comportamiento y causas raíz. De manera complementaria, se integra la gestión de la información en el sistema CMMS, facilitando la trazabilidad de las intervenciones, la planificación del mantenimiento y el seguimiento de los indicadores.

Como resultado, se plantean estrategias orientadas a la reducción de fallas repetitivas, el incremento del MTBF y la mejora de la disponibilidad operacional. Se espera que la implementación de esta metodología permita fortalecer la gestión del mantenimiento, optimizar el desempeño de los equipos y contribuir a la eficiencia del proceso productivo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Roberto Espier Castilla Gutierrez.

Abstract

Title: Implementation of the Professional Maintenance Pillar under WCM integrating CMMS and History QC in vacuum systems.

Author(s): Deiner Sánchez Dávila.

Key Words: WCM, CMMS, History QC, maintenance, reliability, vacuum systems.

Description: This work presents the implementation of the Professional Maintenance pillar under the World Class Manufacturing (WCM) approach, integrating a Computerized Maintenance Management System (CMMS) and the History QC tool, with the aim of improving the reliability of vacuum systems in an omega-3 production plant.

Initially, a diagnosis of the current maintenance condition is carried out, identifying recurrent failures and evaluating key performance indicators such as MTBF, MTTR, and operational availability. The analysis reveals a high incidence of repetitive failures associated with vacuum systems, which directly affect process continuity and operational performance.

Subsequently, the History QC methodology is applied to analyze failures from a historical perspective, allowing the identification of behavior patterns and root causes. In parallel, maintenance information is structured within the CMMS, improving traceability, planning, and control of maintenance activities.

As a result, strategies are proposed to reduce repetitive failures, increase MTBF, and improve equipment availability. It is expected that the implementation of this approach will strengthen maintenance management, enhance equipment performance, and contribute to the overall efficiency of the production process.

1.Introducción

La producción de concentrados de Omega 3 se caracteriza por requerir procesos altamente continuos y sensibles a cualquier interrupción operacional. En este tipo de industria, la confiabilidad operativa se convierte en un aspecto fundamental para garantizar la estabilidad productiva, ya que cualquier variación en la disponibilidad de los equipos impacta directamente los volúmenes procesados y la eficiencia del sistema. En consecuencia, la gestión del mantenimiento y de los activos adquiere un papel determinante en el desempeño global de la planta.

En el caso de la planta de producción de Omega 3, la Unidad de Destilación Molecular representa un punto crítico dentro de la cadena de proceso y, al mismo tiempo, una de las principales restricciones operativas. Durante los últimos periodos, esta unidad ha presentado fallas recurrentes en los sistemas de vacío y en sus equipos auxiliares, lo que ha limitado su capacidad para sostener condiciones estables de operación continua.

Desde la experiencia del área de mantenimiento, se ha evidenciado que estas fallas no solo afectan la continuidad del proceso, sino que también generan impactos directos en los indicadores de gestión. Actualmente, se registra un MTBF cercano a las 70 horas, valor inferior al objetivo corporativo de 100 horas, acumulándose además más de 100 horas de indisponibilidad que han afectado la disponibilidad global de la planta.

Aunque la organización contaba con un programa de mantenimiento estructurado y con el soporte del sistema corporativo SAP, esta plataforma presentaba limitaciones para una gestión técnica orientada a la confiabilidad. En particular, se identificaron restricciones en la trazabilidad de la información, en el análisis detallado de fallas y en el seguimiento especializado de los activos.

Esta situación motivó la migración hacia un sistema más alineado con las necesidades del área, incorporando el CMMS Fractal como herramienta central para la administración de los activos físicos.

Los análisis iniciales permitieron identificar que aproximadamente el 60% de los eventos de interrupción estaban asociados a fallas en los sistemas de vacío y su regulación, lo cual evidenció la necesidad de una intervención más profunda basada en metodologías estructuradas de mantenimiento.

En este contexto, el presente proyecto propone la implementación del pilar de Mantenimiento Profesional bajo el enfoque WCM, apoyado en el uso de un CMMS especializado y en la aplicación del método History QC para el análisis sistemático de fallas. La integración de estas herramientas permitirá priorizar los equipos críticos, identificar modos de falla recurrentes y establecer acciones orientadas a mejorar la confiabilidad operativa.

Finalmente, se espera que la aplicación de esta estrategia contribuya al incremento de la disponibilidad de la unidad, a la optimización del proceso de destilación molecular y al fortalecimiento del desempeño global de la planta.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Implementar una estrategia de mantenimiento profesional basada en WCM integrada con CMMS y History QC para mejorar la confiabilidad de los sistemas de vacío en una planta de producción de omega 3.

2.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual del mantenimiento de los sistemas de vacío mediante análisis de criticidad y fallas históricas.

Aplicar la metodología History QC para reducir en al menos un 20% las fallas repetitivas.

Integrar la información técnica en el CMMS para mejorar en un 15% el cumplimiento del mantenimiento planificado.

Diseñar planes de mantenimiento orientados a la confiabilidad para aumentar en un 10% la disponibilidad operacional.

Evaluar el impacto de la estrategia mediante indicadores de mantenimiento como MTBF, MTTR y disponibilidad.

Nota:

Los objetivos del presente trabajo fueron ajustados respecto a la versión inicial del anteproyecto, con el fin de incorporar criterios de medición y alinearlos con la hipótesis y los indicadores de mantenimiento definidos.

3. Marco teórico y estado del arte.

3.1. Enfoque de mantenimiento en la industria moderna

En el contexto industrial actual, el mantenimiento ha dejado de ser una actividad reactiva enfocada únicamente en la corrección de fallas, para convertirse en un proceso estratégico orientado a garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los activos productivos. Esta evolución ha sido impulsada por la necesidad de reducir costos operativos, minimizar pérdidas de producción y aumentar la competitividad de las organizaciones.

En este sentido, las empresas han migrado hacia modelos de gestión del mantenimiento basados en datos, donde la toma de decisiones se fundamenta en el análisis de información histórica, indicadores de desempeño y metodologías estructuradas de mejora continua. Este enfoque permite anticiparse a las fallas, identificar causas raíz y establecer acciones sostenibles que impacten positivamente los resultados operacionales. (Nakajima, 1988).

3.2 Metodología World Class Manufacturing (WCM)

El modelo de mantenimiento dentro de la metodología World Class Manufacturing (WCM) se fundamenta en la eliminación sistemática de pérdidas a través de la mejora continua. Esta filosofía busca llevar a las organizaciones a niveles de desempeño de clase mundial mediante la implementación de pilares técnicos y de gestión que abordan diferentes áreas de la operación.

Dentro de estos pilares, el mantenimiento profesional juega un papel fundamental, ya que se enfoca en mejorar la confiabilidad de los equipos mediante la identificación y eliminación de fallas crónicas. A diferencia de enfoques tradicionales, WCM promueve una gestión estructurada basada en evidencia, donde cada problema es analizado en profundidad antes de definir una solución. (Wireman, 2004).

3.3 Pilar de mantenimiento profesional

El pilar de mantenimiento profesional tiene como objetivo garantizar que los equipos operen en condiciones óptimas, eliminando progresivamente las pérdidas asociadas a fallas recurrentes. Este enfoque se basa en la restauración de condiciones básicas, la eliminación de fuentes de deterioro y la mejora continua de los estándares de mantenimiento.

Una de las características más relevantes es su orientación al análisis profundo de fallas, permitiendo identificar causas raíz y establecer soluciones sostenibles que eviten su recurrencia.

3.4 Sistemas CMMS

Los sistemas CMMS (Computerized Maintenance Management System) permiten gestionar de manera eficiente las actividades de mantenimiento, facilitando la planificación, ejecución y control de las intervenciones.

Estos sistemas permiten centralizar información, gestionar órdenes de trabajo, analizar históricos de fallas y generar indicadores de desempeño, convirtiéndose en una herramienta clave para la toma de decisiones. (Mobley, 2002).

3.5 Metodología History QC

La herramienta History QC permite analizar fallas repetitivas a partir del historial de mantenimiento, identificando patrones y causas raíz.

Su aplicación facilita la priorización de problemas y el establecimiento de acciones correctivas efectivas.

3.6 Confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional es la capacidad de un sistema para cumplir su función durante un periodo de tiempo bajo condiciones específicas.

Se mide a través de indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad, los cuales permiten evaluar el desempeño de los equipos.

3.7 Sistemas de vacío

Los sistemas de vacío son fundamentales en procesos industriales como la destilación molecular, donde permiten operar en condiciones controladas.

Su correcto funcionamiento es crítico, ya que cualquier falla puede generar impactos significativos en la producción.

3.8 Integración de metodologías

La integración de WCM, CMMS y History QC permite consolidar un modelo de mantenimiento basado en datos, orientado a la mejora continua y a la confiabilidad de los equipos.

4. Hipótesis

La implementación del pilar de Mantenimiento Profesional bajo la metodología WCM, integrada con un sistema CMMS y la herramienta History QC en los sistemas de vacío, mejorará la confiabilidad operacional, evidenciada en una reducción de al menos el 20% en las fallas repetitivas y un incremento del 10% en la disponibilidad operacional de los equipos.

5. Materiales y método

5.1 Enfoque metodológico

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada, orientado a la solución de una problemática real asociada a la confiabilidad de los sistemas de vacío en una planta de producción de omega 3. Este enfoque permite generar soluciones prácticas mediante la implementación de herramientas de gestión del mantenimiento basadas en datos.

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, dado que se fundamenta en el análisis de información histórica de mantenimiento y en la medición de indicadores clave de desempeño como el MTBF, MTTR y la disponibilidad operacional.

5.2 Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron los siguientes recursos:

Recursos tecnológicos:

- Sistema CMMS para la gestión de mantenimiento (Fractal)
- Sistema ERP corporativo (SAP)
- Herramientas ofimáticas para análisis de datos (Excel)

Recursos técnicos:

- Historial de fallas de los sistemas de vacío
- Registros de órdenes de trabajo
- Información técnica de los equipos
- Planes de mantenimiento existentes

Recursos humanos:

- Ingeniero de mantenimiento
- Técnicos de mantenimiento
- Personal operativo de la planta

5.3 Método

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante una metodología estructurada basada en el pilar de mantenimiento profesional, integrando herramientas de análisis de fallas y gestión de mantenimiento.

El método se desarrolló en las siguientes etapas:

5.3.1 Diagnóstico inicial

Se realizó la recopilación y análisis de la información histórica de mantenimiento, identificando las principales fallas en los sistemas de vacío y evaluando los indicadores de desempeño actuales.

5.3.2 Análisis de criticidad

Se clasificaron los equipos en función de su impacto en la operación, considerando variables como frecuencia de fallas, impacto en la producción y costos asociados.

5.3.3 Aplicación de History QC

Se implementó la herramienta History QC para analizar las fallas repetitivas, identificar patrones de comportamiento y determinar las causas raíz.

5.3.4 Integración con CMMS

Se estructuró la información en el sistema CMMS, permitiendo mejorar la trazabilidad, planificación y control de las actividades de mantenimiento.

5.3.5 Diseño de planes de mantenimiento

Se desarrollaron planes de mantenimiento orientados a la confiabilidad, enfocados en la prevención de fallas y la optimización del desempeño de los equipos.

5.3.6 Evaluación de resultados

Se analizaron los indicadores de desempeño antes y después de la implementación de la estrategia, con el fin de evaluar su impacto en la confiabilidad de los sistemas de vacío.

5.4 Variables de estudio

Variable independiente:

Implementación del mantenimiento profesional basado en WCM integrado con CMMS y History QC.

Variable dependiente:

Confiabilidad de los sistemas de vacío.

Variables de medición:

- Disponibilidad operacional
- MTBF
- MTTR
- Frecuencia de fallas repetitivas
- Cumplimiento del mantenimiento planificado

6. Resultados esperados.

Los resultados esperados del presente trabajo están orientados a evidenciar el impacto de la implementación del pilar de mantenimiento profesional bajo la metodología WCM, integrado con el uso de CMMS y la herramienta History QC, sobre la confiabilidad de los sistemas de vacío en la planta de producción de omega 3.

En primera instancia, se espera obtener una mejora significativa en la gestión del mantenimiento, pasando de un enfoque reactivo a un modelo estructurado basado en el análisis de datos y la mejora continua. Esto permitirá una mejor planificación de las actividades, mayor control sobre las intervenciones y una reducción en la incertidumbre operativa.

Desde el punto de vista técnico, se proyecta una disminución en la frecuencia de fallas repetitivas, como resultado de la aplicación de la metodología History QC, la cual permite identificar causas raíz y establecer acciones correctivas sostenibles. Esto contribuirá directamente a mejorar la estabilidad operativa de los sistemas de vacío.

Asimismo, se espera un incremento en la disponibilidad operacional de los equipos, debido a la implementación de planes de mantenimiento preventivo y a la optimización de los tiempos de intervención. Esto impactará positivamente la continuidad del proceso productivo.

A continuación, se presentan los indicadores esperados tras la implementación de la estrategia, los cuales corresponden a una estimación basada en el análisis de la información histórica y el comportamiento esperado del sistema.

Tabla 1.
Indicadores esperados de desempeño

Indicador	Actual	Meta	Impacto esperado
Disponibilidad operacional	85%	95%	▲ Mejora en continuidad operativa
MTBF (horas)	120 h	150 h	▲ Mayor confiabilidad del sistema
MTTR (horas)	10 h	8 h	▼ Reducción en tiempos de reparación
Fallas repetitivas	Base actual	-20%	▼ Disminución de eventos críticos
Mantenimiento planificado	60%	75%	▲ Mejor control del mantenimiento

7. Conclusión del plan

El desarrollo de este trabajo permitió plantear una estrategia enfocada en mejorar la confiabilidad de los sistemas de vacío, a partir de la implementación del mantenimiento profesional bajo el enfoque WCM, apoyado en el uso de un CMMS y en el análisis de fallas mediante History QC.

Durante el diagnóstico se evidenció que una gran parte de los problemas operativos están asociados a fallas repetitivas, las cuales afectan directamente la disponibilidad de los equipos y el desempeño del proceso. Esto confirmó la necesidad de trabajar no solo en la corrección de fallas, sino en entender sus causas y controlarlas de manera más estructurada.

La propuesta planteada permite organizar mejor la gestión del mantenimiento, fortalecer el uso de la información y tomar decisiones con mayor criterio técnico. Además, el uso de indicadores facilita hacer seguimiento al comportamiento de los equipos y evaluar si las acciones implementadas realmente generan mejoras.

En general, se espera que la aplicación de esta estrategia contribuya a disminuir las fallas repetitivas, mejorar la disponibilidad y hacer más eficiente el mantenimiento. De igual forma, deja una base que puede seguirse fortaleciendo en el tiempo y aplicarse en otros sistemas de la planta.

8. Recomendaciones

Se recomienda continuar con la implementación de la estrategia propuesta, asegurando el seguimiento permanente de los indicadores de mantenimiento.

Asimismo, se sugiere fortalecer la capacitación del personal en el uso de herramientas como el CMMS y el análisis de fallas mediante History QC, con el fin de garantizar la sostenibilidad de las mejoras.

Finalmente, se recomienda evaluar la aplicación de esta metodología en otros sistemas de la planta, con el objetivo de extender los beneficios obtenidos.

Referencias Bibliográficas

- Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance*. Springer.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Wireman, T. (2004). *Total productive maintenance*. Industrial Press.