

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas
Dra. María Eugenia García Moreno
Ing. Alejandro Martín Mayori Machicao
Ing. Freddy Gutiérrez Barea
Ing. Franz José Zenteno Benítez

Rector
Vicerrector
Decano Facultad de Ingeniería
ViceDecano Facultad de Ingeniería
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0
Edición Impresa N°. 7 - Noviembre 2023
Impresa: ISSN 2958-017X
En Línea: ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:
Ing. Oswaldo Terán Modregón PhD
Ing. Grover Sánchez Eid
Ing. Mario Zenteno Benítez PhD

Diseño Versión Impresa & web:
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:
Carrera de Ingeniería Industrial

Imprenta:
Walking Graf

Deposito Legal:
4-3-68-20

Web:
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
TEL. 2205000-2205067, Int. 1402
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30



PRESENTACIÓN

Me complace de sobre manera poder realizar la presentación del número 7 de la Revista Industrial 4.0 que de manera permanente se publica desde hace 3 años, una aventura a la que se sumaron diferentes docentes y estudiantes, de ingeniería industrial y de diversas especialidades, que realizan trabajos de investigación y que encontraron en nuestra publicación una forma de difundir sus pesquisas.

La revista tiene dos versiones: una impresa, que está financiada cien por ciento con recursos propios de la Carrera de Ingeniería Industrial, que es distribuida en el ámbito académico y científico, empresariado privado, entidades públicas y público en general; la versión digital es de acceso libre y fácil, se encuentra alojada en el portal de la Carrera.



Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez
DIRECTOR
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

La Ingeniería Industrial no solo es tecnología, sino que tiene una cobertura transversal y que abarca a diferentes ciencias y especialidades del conocimiento; en toda actividad productiva y de servicios puede requerir una intervención de profesionales con formación en ingeniería industrial ya sea de forma individual y/o en equipos multidisciplinarios.

En tal sentido, los artículos que se publican en éste número permitirá al lector adquirir conocimientos sobre la sostenibilidad de las empresas, la industria del conocimiento e innovación, aplicación de indicadores ambientales, la responsabilidad social empresarial, la morfología del cuerpo humano, equipos de la industria cementera y el uso de monedas extranjeras en el comercio del país.

La Revista Industrial 4.0 es una vía para adentrarnos en el apasionante mundo de la ingeniería industrial, por lo tanto, invitamos a todos los interesados en preparar sus artículos y presentarlos en las convocatorias que se realiza oportunamente y ser parte del selecto grupo de investigadores académicos que publica con nosotros.

Agradecer a los miembros del Comité Editor que colaboraron en éste número en la revisión de los artículos presentados, es una actividad sin remuneración que es realizada con el mayor profesionalismo y entusiasmo. Asimismo, a todo el personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Industrial que brinda su apoyo permanente para que la publicación sea una realidad.

Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez
DIRECTOR
INGENIERÍA INDUSTRIAL

LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS Y LA DETECCIÓN DE FALLAS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

Nelson Condorena Avila
nelsoncondorenaavila@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2415-8932

Recibido: 23 de septiembre; aprobado: 2 de noviembre

RESUMEN

La disponibilidad de equipos es una preocupación crucial en la industria cementera, ya que las paradas no programadas tienen un impacto negativo tanto en la producción como en la economía. Por otro lado, la detección oportuna de fallas contribuye a planificar el mantenimiento y mejorar la disponibilidad de los equipos utilizados en el proceso de fabricación del cemento. En este trabajo se presenta una explicación y descripción de la importancia de la disponibilidad de equipos en comparación con la detección de fallas, como un enfoque ideal para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria cementera. La metodología empleada se basa en la revisión bibliográfica, enfocándose en conceptos de mantenimiento relacionados con la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Además, se resalta la importancia de realizar una detección oportuna de fallas en la industria cementera. Se describen los lineamientos para el análisis de modos de falla aplicados a los activos en general. Finalmente, se reflexiona sobre la disponibilidad de equipos, la detección de fallas y la participación de los actores en el mantenimiento. Se concluye que, para lograr resultados óptimos en materia de mantenimiento, es necesario que todos los actores y responsables en el campo de la industria cementera se involucren activamente. En resumen, este trabajo resalta la importancia de la disponibilidad de equipos y la detección de fallas como elementos fundamentales para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria cementera. Se enfatiza la necesidad de involucrar a todos los actores relevantes para lograr resultados exitosos en esta área.

PALABRAS CLAVE: Disponibilidad, Detección de fallas, Gestión de mantenimiento, Mantenimiento Industrial.

ABSTRACT

Equipment availability is a crucial concern in the cement industry, as unscheduled downtime has a negative impact on both production and the economy. On the other hand, the timely detection of failures contributes to planning maintenance and improving the availability of the equipment used in the cement manufacturing process. This paper presents an explanation and description of the importance of equipment availability compared to fault detection, as an ideal approach to improve maintenance management in the cement industry. The methodology used is based on the bibliographic review, focusing on maintenance concepts related to reliability, availability and maintainability. In addition, the importance of timely detection of failures in the cement industry is highlighted. The guidelines for the analysis of failure modes applied to assets in general are described. Finally, it reflects on the availability of equipment, the detection of failures and the participation of the actors in maintenance. It is concluded that, in order to achieve optimal results in terms of maintenance, it is necessary that all the actors and managers in the field of the cement industry become actively involved. In summary, this work highlights the importance of equipment availability and failure detection as fundamental elements to improve maintenance management in the cement industry. The need to involve all relevant stakeholders to achieve successful results in this area is emphasized.

KEY WORDS: Availability, Fault detection, Maintenance management, Industrial Maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

En el actual escenario empresarial, caracterizado por una competencia feroz en el contexto de una economía globalizada, las empresas se enfrentan a desafíos significativos que requieren un enfoque proactivo y estratégico. La necesidad de innovación y mejora continua se ha vuelto imperativa para mantenerse no solo a la par, sino también por delante de las expectativas del mercado en constante evolución. Este mandato se extiende a todos los aspectos del funcionamiento empresarial, desde los procesos internos hasta la calidad de los productos y los métodos de operación.

En el contexto específico de la industria cementera y, de manera más general, en cualquier sector industrial, la mejora continua y la innovación no solo se traducen en una ventaja competitiva, sino que se han vuelto esenciales para la supervivencia a largo plazo. El desempeño operativo eficiente y efectivo es un requisito clave para enfrentar los retos planteados por las dinámicas cambiantes del mercado, las expectativas de los clientes y las presiones regulatorias.

La disponibilidad de activos en el proceso productivo emerge como un pilar fundamental en la búsqueda de la excelencia operativa. Los activos, que representan una inversión significativa para las empresas, deben operar de manera óptima y estar disponibles cuando se necesiten. La gestión efectiva de la disponibilidad de estos activos se convierte en un diferenciador crítico, ya que afecta directamente la eficiencia y la capacidad de cumplir con las demandas del mercado de manera oportuna.

Asimismo, la detección temprana de fallas se revela como una estrategia clave para mitigar riesgos y planificar intervenciones de mantenimiento de manera proactiva. La capacidad de anticiparse a posibles problemas en los activos permite evitar paradas no programadas, reducir costos asociados a reparaciones mayores y maximizar la vida útil de los equipos.

En ese sentido se plantea el siguiente objetivo: Describir la disponibilidad de equipos y la detección de fallas como un medio para mejorar la gestión de mantenimiento en la industria cementera para secciones particulares de proceso.

II. METODOLOGÍA

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se fundamenta en una exhaustiva revisión bibliográfica con el propósito de realizar un análisis detallado, presentar propuestas concretas y derivar conclusiones significativas sobre la relevancia de la disponibilidad de activos y la detección oportuna de fallas como elementos clave en la implementación de una estrategia de mantenimiento basado en condición, especialmente adaptada al contexto de la industria cementera. La revisión bibliográfica se lleva a cabo mediante un riguroso examen de la literatura existente en el campo del mantenimiento basado en condición, centrándose en las particularidades y desafíos específicos que enfrenta la industria cementera. Se exploran investigaciones previas, mejores prácticas y casos de estudio relevantes para comprender a fondo cómo la gestión de activos y la detección anticipada de fallas pueden optimizarse para generar beneficios tangibles.

El análisis de la información recopilada se estructura en torno a la identificación de patrones, tendencias y enfoques exitosos utilizados en otros contextos industriales y que podrían adaptarse con éxito a la realidad de la industria cementera. Se busca establecer conexiones claras entre la disponibilidad de activos, la detección de fallas y su impacto directo en los resultados productivos y económicos. Además, se proponen recomendaciones específicas y medidas prácticas que podrían implementarse en el ámbito de la industria cementera, considerando las características únicas de sus procesos y activos. Estas propuestas se basan en la síntesis de la información obtenida durante la revisión bibliográfica y buscan brindar soluciones concretas y aplicables a los desafíos identificados.

III. DESARROLLO

CRITERIO DE CONFIABILIDAD

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 (MESA GRAJALES et al., 2006). Este concepto es ampliamente empleado en el ámbito de la industria cementera, y tiene mucha importancia. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas (MESA GRAJALES et al., 2006).

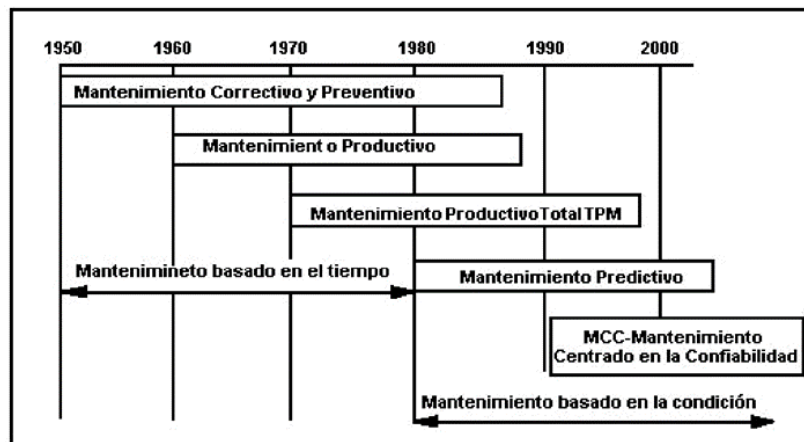


Figura 1: Evolución de los tipos de mantenimiento (MESA GRAJALES et al., 2006)

Para poder obtener la confiabilidad de un equipo industrial se puede emplear la siguiente expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e : constante Neperiana ($e = 2.303 \dots$)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t : tiempo

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado (MESA GRAJALES et al., 2006).

El proceso de fabricación del cemento es una actividad muy complicada. La producción de cemento se caracteriza por incluir procesos físicos y químicos de alta complejidad, debido a las altas temperaturas requeridas para generar las reacciones químicas necesarias en el proceso (Castillo Tirado et al., 2022). El monitoreo de los equipos componentes del proceso representa una tarea importante para detectar fallas.

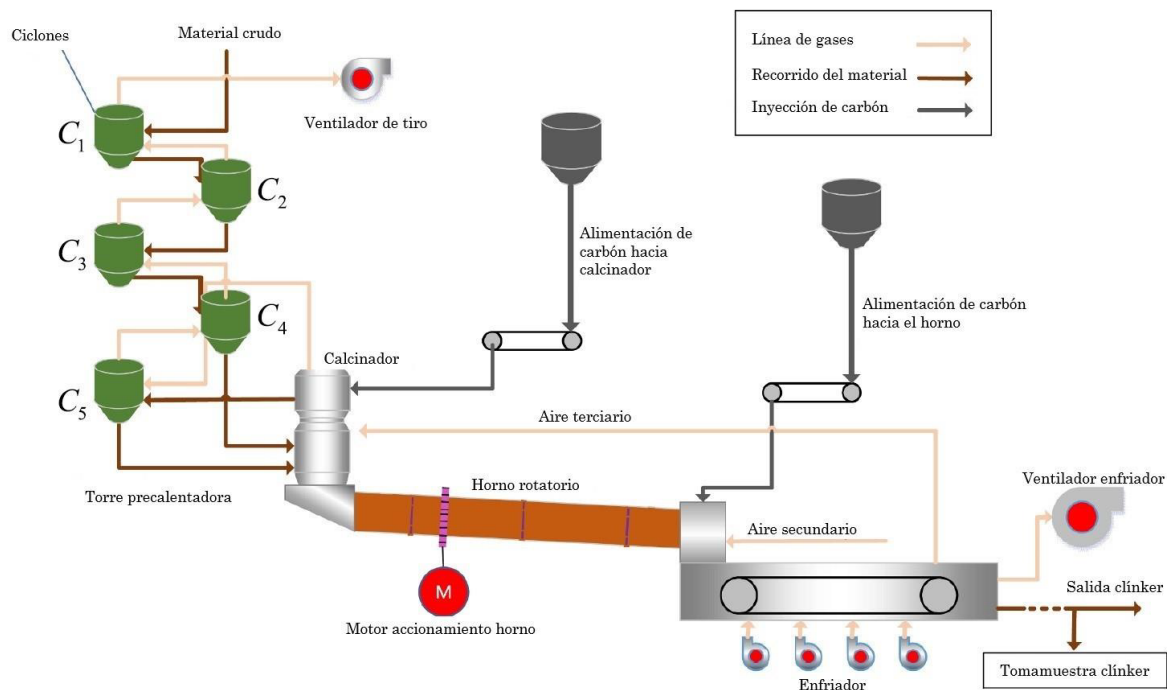


Figura 2: Proceso de clinkerización (Castillo Tirado et al., 2022)

En la figura anterior se muestra el diagrama del proceso de clinkerización, donde se puede evidenciar la sucesión de equipos involucrados. En ese sentido la Confiabilidad esta condicionada de manera sucesiva, es decir que depende de los equipos aledaños.

Confiabilidad guiada por el Operador

Indudablemente la confiabilidad es un aspecto que esta condicionado al modo de actuar del personal dentro de las industrias, tal es el caso de los operadores de producción que interactúan un tiempo mayoritario con los equipos.

Operar plantas de procesos para controlarlas, mantenerlas y gestionarlás sigue siendo una tarea compleja. actividad impulsada por operadores calificados. A pesar de las crecientes capacidades de automatización y tecnologías de la información, solo una parte de los objetos técnicos de una planta de proceso interactúa digitalmente con los seres humanos en el desempeño de sus funciones (DOBRE et al., 2008).

Los check list de los operadores, son actividades para verificación de equipos al inicio de su jornada, que incluyen básicamente inspecciones visuales y de limpieza (Razzeto Atalaya, 2022). Indudablemente por este hecho los operadores realizan un importante desempeño en la confiabilidad de los equipos.

Rutas de Inspección

Las rutas de inspección son agrupaciones sucesivas de equipos aledaños para tareas de revisión periódica, es decir que son, grupos de equipos uno a continuación de otro para que la inspección sea metódica y sistemática.

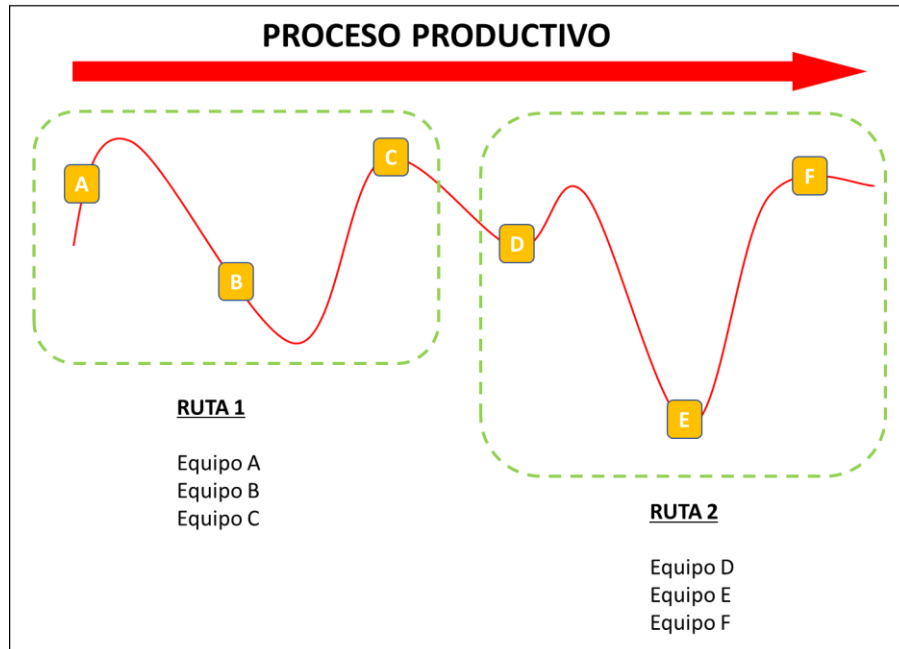


Figura 3: Rutas de inspección. (Fuente: Elaboración Propia)

En la figura anterior se muestra un ejemplo de distribución de equipos en rutas de inspección. Se muestra un proceso productivo con 6 equipos, se muestra las agrupaciones de los equipos en rutas. Este tipo de organización ayuda a elaborar un cronograma de inspección adecuado.

CRITERIO DE DISPONIBILIDAD

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado (MESA GRAJALES et al., 2006). De modo práctico la disponibilidad se expresa en términos porcentuales de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, es decir operación continua.

Buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo es un aspecto muy importante con la finalidad de obtener los mayores beneficios para la organización. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar

los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida (MESA GRAJALES et al., 2006).

A continuación, se muestra ejemplos de equipos que necesitan tener alta confiabilidad, mientras que otros necesitan tener alta disponibilidad o alta mantenibilidad.

	REQUISITOS	EJEMPLOS
1	Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad Tratamiento de agua
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo Acerías
3	Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
4	Disponibilidad basada en buena práctica	Procesamiento por etapas
5	Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistemas de emergencia Plataformas petroleras

Figura 4: Requisitos de algunos sistemas y enfoque de los indicadores (MESA GRAJALES et al., 2006)

Matemáticamente la disponibilidad $D(t)$, se puede definir como la relación entre el tiempo en que el equipo o instalación quedó disponible para producir TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas) y el tiempo total de reparación TMPR (Tiempo Medio Para Reparaciones).

Primera forma

$$D(t) = \frac{\sum \text{tiempos disponibles para la produccion}}{\sum \text{tiempos disponibles para la produccion} + \sum \text{tiempos en mantenimiento}}$$

Segunda forma

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

El TMPR o tiempo medio de reparación, depende en general de: La facilidad del equipo o sistema para realizarle mantenimiento, La capacitación profesional de quien hace la intervención, De las características de la organización y la planificación del mantenimiento (MESA GRAJALES et al., 2006).

Asimismo, la disponibilidad esta expuesta a condiciones de entorno humano operacional. El uso de tecnologías avanzadas y servicios personalizados, podría mejorar las interacciones entre el operador y el sistema que controla. Hemos dado algunos ejemplos de servicios como localización, identificación y acción transparente verificación y validación (DOBRE et al., 2008).

En la industria del cemento, el hecho de reducir gastos está fuertemente relacionado con conseguir que los equipos funcionen durante más tiempo y con más eficiencia, lo que reduce el riesgo de que se produzcan averías inesperadas y optimiza las operaciones de mantenimiento preventivo.

CRITERIO DE MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos (MESA GRAJALES et al., 2006).

La mantenibilidad es la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos. De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Donde:

$M(t)$: es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo $t = 0$ y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e : constante Neperiana ($e = 2.303 \dots$)

μ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t : tiempo previsto de reparación TMPR Además de la relación que tiene la mantenibilidad con el tiempo medio de reparación, TMPR.

Los tiempos que ocurren entre la parada y el retorno a la operación de un equipo se muestran a continuación

t_0	Instante en que se verifica la falla
1	Tiempo para la localización del defecto
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje (Acceso)
4	Tiempo para la remoción de la pieza
5	Tiempo de espera por repuestos (logístico)
6	Tiempo para la substitución de piezas
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas
t_f	Instante de retorno del equipo a la operación

Figura 5: Tiempos transcurridos desde la falla de un equipo y su puesta en marcha (MESA GRAJALES et al., 2006)

Analizando los tiempos anteriores, todos son responsabilidad del personal de mantenimiento. En este sentido, el tiempo en el que el equipo está fuera de operación debe ser reducido y ese debe ser el objetivo de todos los involucrados en el proceso de organización del mantenimiento en una industria cementera, por ejemplo.

RELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD

Si se quiere aumentar la disponibilidad en una fábrica de cemento, se debe:

- ❖ Aumentar la confiabilidad (TMEF)
- ❖ Reducir el tiempo empleado en la reparación (TMEF)
- ❖ Aumentar el TMEF y reducir el TMPR al mismo tiempo

Como la tasa de fallas expresa la relación entre el número de fallas y el tiempo total de operación del sistema o equipo, se puede expresar el TMEF como el inverso de la tasa de fallas λ (MESA GRAJALES et al., 2006), es decir:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda}$$

Análogamente a la definición de la tasa de fallas, es también definida la tasa de reparaciones μ , por:

$$\mu = \frac{\text{Numero de reparaciones indicadas}}{\text{Tiempo total de reparacion de la unidad}}$$

Consecuentemente, el TMPR se puede definir también como el inverso de la tasa de reparaciones (MESA GRAJALES et al., 2006), así:

$$TMPR = \frac{1}{\mu}$$

FALLAS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

La detección oportuna de fallas en equipos en la industria cementera tiene una gran importancia debido a que, si se logra anticipar a una parada forzosa, se pueden tomar acciones para evitar que exista perdida en la producción y precautelar el estado de los equipos industriales. En la siguiente figura se resume la fabricación

de cemento, donde en cada etapa se tiene un grupo de equipos a los cuales se tiene que monitorear.



Figura 6: Proceso de fabricación de cemento (Velez De Villa Rodriguez, 2022)

Cada falla en la industria cementera representa un riesgo potencial, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones correctivas o preventivas como parte del mantenimiento. Estas acciones, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de modo que a cada modo de falla le corresponde una tarea. Podemos definir entonces un modo de falla, como “la forma” en que un equipo o activo falla (Aguilar Otero et al., 2010).

En la industria cementera, las fallas ocurren cuando no existe un buen control en la detección oportuna de anomalías para prevenir que el equipo falle. Es por eso que existe en muchas fabricas el Mantenimiento Basado en Condicion (MBC), que es una forma de detectar anomalías antes que ocurra la falla por medio de técnicas predictivas.

Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de Administración del Riesgo

estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc., o bien, como en este caso, donde el objetivo del FMECA es diseñar un plan de mantenimiento, a cada modo de falla le corresponderá una tarea de mantenimiento (Aguilar Otero et al., 2010).

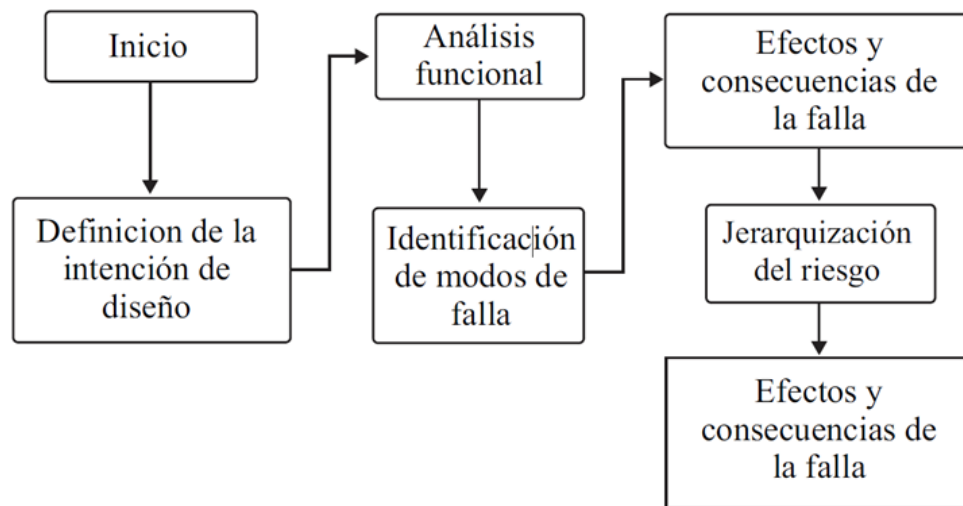


Figura 7: Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos - FMEA, (Aguilar Otero et al., 2010)

Se puede ver en la grafica anterior que, la metodología para analizar los modos de falla implica definir la intención de diseño para el análisis, realizar el análisis de funciones de los equipos, identificar los modos de falla y efectos, realizar una jerarquización del riesgo y analizar las consecuencias de la falla.

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración, etc (Aguilar Otero et al., 2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la industria del cemento, como en toda industria en la era actual, se requiere de mayor exigencia en todos los procesos internos, tal es el caso del mantenimiento donde se pretende lograr mayor disponibilidad a partir de la detección oportuna de anomalías para prevenir las paradas no programadas.

La confiabilidad sólo debe ser buscada cuando realmente sea efectiva. El objetivo del mantenimiento es garantizar la función requerida de los equipos y sistemas, no eliminar todas las fallas. Equipos iguales con fases de vida diferentes requieren diferentes tipos de mantenimiento.

No siempre más mantenimiento preventivo es mejor, no siempre más mantenimiento correctivo es peor. El que entiende de confiabilidad es quien opera, el mantenimiento entiende de reparaciones. Si un equipo opera fuera de las condiciones para las cuales fue diseñado, el mantenimiento nada puede hacer para mejora la confiabilidad.

Para aumentar la confiabilidad es preciso evitar la intervención humana innecesaria. Practicar el mantenimiento sin poner las manos en el equipo aumenta la confiabilidad. El énfasis del mantenimiento debería ser no hacer mantenimiento.

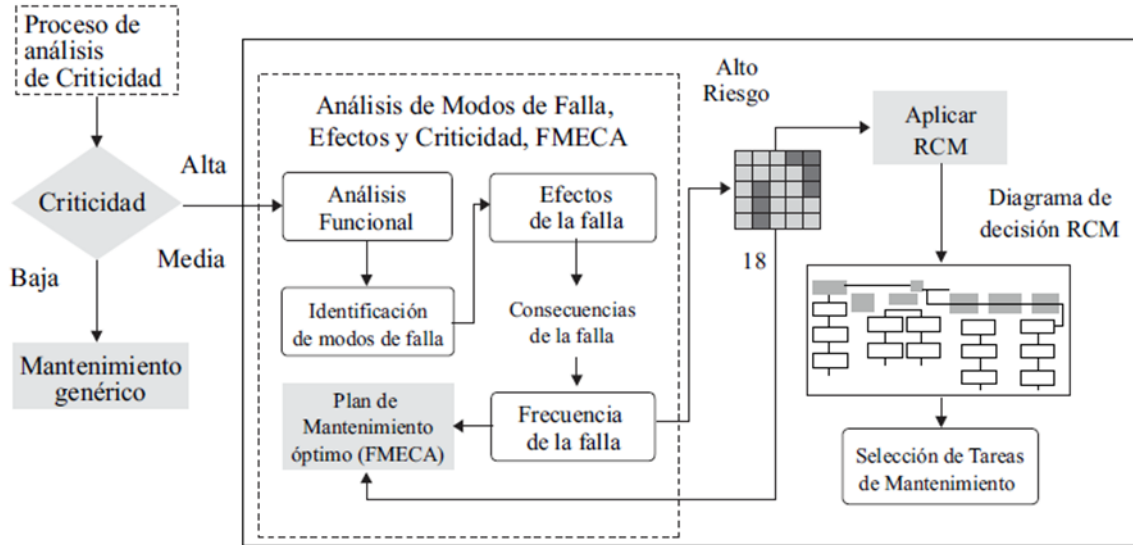
La organización del mantenimiento debe estar focalizada en la disponibilidad. La operación correcta es la primera línea de defensa contra las fallas. Se debe actuar prioritariamente sobre la mantenibilidad para aumentar la disponibilidad.

V. CONCLUSIONES

Habiendo realizado una revisión bibliográfica acerca de la disponibilidad de activos y la detección de fallas oportunas como una política de mantenimiento (Mantenimiento Basado en Condición) aplicado a la industria cementera con la finalidad de encontrar los procedimientos de mejora a nivel productivo y económico, se concluye que, para obtener resultados óptimos en materia de mantenimiento se requiere el involucramiento de todos los actores. Tanto la disponibilidad de equipos como la detección de fallas esta fuertemente ligado a la operación, por lo que resultará importante una concientización del personal de producción de cualquier empresa, como es el caso de la industria cementera.

ANEXOS

Anexo 1: Proceso RCM



Fuente: Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad, AMFEC, (Aguilar Otero et al., 2010)

REFERENCIAS

- Aguilar Otero, J. R., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15–26.
- Castillo Tirado, J. L., Ospina Alarcon, M. A., & Ortiz Valencia, P. A. (2022). Horno cementero rotatorio: una revisión al control mediante sistemas expertos. *Tecnológicas*, 25. <https://doi.org/10.22430/22565337.2391>
- DOBRE, D., MOREL, G., PETIN, J.-F. ois, & BAJIC, E. (2008). Improving digital interaction for operator-driven process-plant operation. *Centre de Recherche En Automatique de Nancy (CRAN)*.
- MESA GRAJALES, D. H., ORTIZ SÁNCHEZ, Y., & PINZÓN, M. (2006). LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO. *Scientia et Technica Año XII*, 30, 155–160.
- Razzeto Atalaya, J. P. (2022). *Mantenimiento RCM y disponibilidad de equipos de la sección de embolsado y despacho de una empresa cementera*.
- Velez De Villa Rodriguez, C. (2022). *VALORIZACIÓN DE LA EMPRESA YURA S.A.* Universidad del Pacifico.

BIBLIOGRAFÍA

- Frías Gutiérrez S., Revuelta Muñoz M., Pacheco Bustos C. (2022). *Análisis del ciclo de vida (ACV): De un cemento producido con reemplazo de cáscara de huevo y cáscara de arroz*. Bucaramanga, REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA. Vol. 17. Medellin, Colombia.
- Pérez Rondón, Félix Antonio. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Bucaramanga, Colombia. Universidad Santo Tomás
- García, Santiago. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid, España. Diaz de Santos.



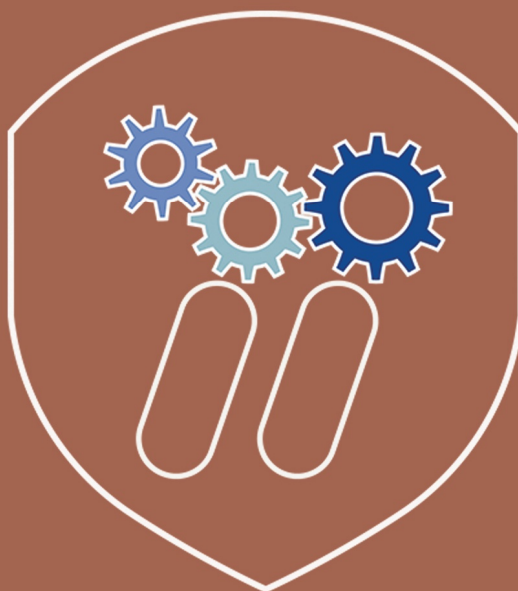
Carrera de Ingeniería Industrial
Acreditada al Sistema ARCU-SUR, del MERCOSUR Educativo

Carrera de Ingeniería Industrial
Unidad Académica Acreditada
Comite Ejecutivo de la Universidad Boliviana

industrial.umsa.bo / iiifi.umsa.bo / inuisiso.umsa.bo / iniam.umsa.bo



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería



Todos los Derechos Reservados
Carrea de Ingeniería Industrial, Noviembre - 2023
La Paz - Bolivia

- * Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175
Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402
- * Campus Universitario - Cota Cota, calle 30
- * Web: industrial.umsa.bo
Email: ingindustrial@umsa.bo
revistaindustrial4.0@umsa.bo