

Priorización del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos de una máquina de inyección de poliuretano de alta presión



Prioritization of maintenance by determining the priority number of risk, and analysis of modes and effects of failures of a high pressure polyurethane injection machine

Angel Daniel Larrea Moreano.¹, Cristian David Redrobán Dillon.² & Antonio Gabriel Castillo Medina.³

Recibido: 24-04-2020 / Revisado: 13-05-2020 / Aceptado: 22-06-2020 / Publicado: 03-07-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1353>

Prioritization of activities is very important, to know the importance of performing a maintenance activity. The Modes Analysis Methodology and Failure Effects (AMEF), is a tool that allows us to prioritize the maintenance care for equipment; currently this tool is applied to determine the risk level of the equipment, according on the study of equipment failures, their severity, occurrence probability and failure detectability. The methodology was applied to a high-pressure polyurethane injection machine; for this the work was divided into two parts. The first part was based on the Analysis and Performance Determination and its operational context within the production line, and the second part the equipment failure modes is determined, and based on them the risk of failures and failure modes was determined in a Number of Risk Priority. Giving us as result, 7 failure modes of the 16 analyzed, have a potential risk of happening, and can directly affect the performance of the equipment's operational context. Therefore maintenance activities with their respective priority are established. It was found that 7 of the 16 failure modes are potential main causes

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. dlarrea@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. david.redroban@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. antoniog.castillo@esPOCH.edu.ec

for equipment functional failure, therefore those must be prevented. The main problems of the equipment are: Partially clogged pipes, Inadequate temperature, based on the Priority Risk Number analysis, there is no electricity supply. It was determined that the tasks of Inspection and cleaning of pipe, Calibration of pressure and temperature controls, Checking the power supply and its parameters are tasks to avoid functional failures and decrease the equipment failure by 42.8%.

Keywords: failure, failure mode, risk priority number; maintenance tasks, high pressure polyurethane injection machine.

Resumen.

La priorización de las actividades es muy importante para saber la importancia de ejecutar una actividad de mantenimiento. La metodología del Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF) es una herramienta que permite priorizar la atención del mantenimiento para los equipos; esta herramienta en la actualidad se la aplica para determinar el nivel de riesgo de los equipos en base al estudio de las fallas de los equipos, su severidad, probabilidad de ocurrencia y la detectabilidad de la falla. La metodología se aplicó a una máquina de inyección de poliuretano de alta presión; para esto el trabajo se dividió en dos partes, la primera se basó en el Análisis y Determinación del funcionamiento y su contexto operacional dentro de la línea de producción, y la segunda parte se determinaron los modos de falla de los equipos y en base a ellos se determinó en Número de Prioridad de Riesgo de las fallas y sus modos de falla, dándonos como resultado que 7 modos de falla de los 16 analizados, tienen un riesgo potencial de ocurrencia y pueden afectar directamente al desempeño del contexto operacional del equipo, por lo que se establecen actividades de mantenimiento con su respectiva prioridad. Se encontró que 7 de los 16 modos de falla son potenciales causas principales para el fallo funcional del equipo por lo que se deben prevenir. Los principales problemas del equipo son: Cañerías Parcialmente obstruidas; Temperatura inadecuada; No existe suministro de electricidad en base al análisis del Número Prioritario de Riesgo. Se determinaron que las tareas de Inspección y limpieza de cañerías; Calibración de los controles de presión y temperatura; Revisar la alimentación eléctrica y sus parámetros son tareas para evitar fallas funcionales y disminuir en un 42.8% de probabilidad que el equipo falle.

Palabras claves: falla, modos de falla, numero de prioridad de riesgo, tareas de mantenimiento, máquina de inyección de poliuretano de alta presión.

Introducción.

Las últimas dos décadas fueron testigos de importantes avances en el desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento. El progreso en el área de mantenimiento ha sido motivado por el aumento en el número, tamaño, complejidad y variedad de activos físicos; creciente conciencia del impacto del mantenimiento en el medio ambiente, la seguridad del personal, la rentabilidad del negocio y la calidad de los productos. (Haddara, 2003), el mantenimiento

se ha dedicado a realizar planes de mantenimiento adecuados, empleando diferentes técnicas y herramientas.

Hay que considerar que es necesario priorizar las actividades que se llevan a cabo en un equipo en base al análisis de riesgos ya que esto permite realizar la Planificación del mantenimiento, optimizando el plan de mantenimiento para reducir la probabilidad de los fallos que sobrepasan el criterio de aceptación, reduciendo así su riesgo. (Ltd, 2013)

Para ello se pueden emplear diferentes técnicas que permiten estimar el riesgo, una de estas herramientas es el AMEF que es una herramienta excelente para identificar la importancia del Diseño o Características del Proceso y Funciones relacionadas con las fallas de efectos. (Carrasco, s.f.)

Una máquina de inyección de poliuretano de alta presión se emplea para resolver problemas como por ejemplo de aislamiento térmico y acústico, relleno de juntas, sellando de corrientes de aire y olores, entre otros. Se adhiere a la mayoría de los materiales de construcción, excepto películas de polietileno, siliconas y teflón, además estos productos son respetuosos con el medio ambiente, no son tóxicos y de fácil aplicación.

El mantenimiento aplicado a este equipo debe ser adecuado con el fin de alcanzar una alta disponibilidad, considerando que el equipo presenta un sin número de inconvenientes al momento de realizar su función es recomendable determinar qué actividades de mantenimiento tendría mayor prioridad frente a otras.

Metodología.

Para la priorización de las tareas de mantenimiento existen diferentes métodos y herramientas, sin embargo, para este equipo se emplea el Análisis de Modos y Efectos de Falla en una máquina de inyección de poliuretano de alta presión, la cual oferta el servicio de aislamiento térmico a buses, furgones y galpones.

Para el desarrollo de la técnica de mejora continua denominado “Análisis de Modos y Efectos de Falla” se tomó la metodología de Moubray; RCM II. Adicionalmente, se desarrolló el cálculo del número prioritario de riesgo (NPR) para la toma de la acción correctiva necesaria.

Para un buen desarrollo del análisis de riesgo del equipo se consideran los siguientes pasos:

- Definición de la función del equipo
- Determinación de fallas
- Determinación de los modos de falla
- Determinación de los efectos de falla

1. **Definición de la función del equipo:** La enunciación de una función debe consistir de un verbo, un objeto, y el nivel de desempeño deseado (Moubray, 2004)

2. **Determinación de fallas:** Se define “falla” como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice. Y define a la falla (Moubray, 2004) el autor nos menciona que existe la falla funcional y de esta se clasifican en dos tipos de fallo Falla total y parcial. Sin embargo, consideramos el desarrollo de lo que menciona la norma. La norma UNE EN 060 300 menciona que los fallos funcionales incluyen (AENOR, 2013):

- a) pérdida completa de la función;
- b) incapacidad de satisfacer el requisito de funcionamiento;
- c) función intermitente;
- d) funcionamiento cuando se requiera.

3. **Determinación de los modos de falla:** forma en la que una pieza o conjunto pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente. (ESPAÑA, 2004) por lo que se podría concluir que el modo de falla es la causa por la cual un equipo podría llegar a fallar funcionalmente.

Para facilitar la determinación de los modos de fallo, menciona Morales en su libro, se puede técnica de los 5 porqués que consiste en la exploración de un problema por medio de la causa-efecto repitiendo cinco veces la sencilla pregunta ¿Por qué? (Morales, 2013).

4. **Determinación de los efectos de falla:** Es necesario determinar el efecto de la falla debido al respectivo modo de falla. Es por lo que Moubray nos dice que el efecto de falla describe lo que pasa cuando ocurre un modo de falla. (Moubray, 2004).

5. **Determinación del estado actual:** En este punto se debe considerar el cálculo del Número Prioritario de riesgo (NPR) o conocido también como Índice de Prioridad de Riesgo (IPR). Es necesario considerar las ponderaciones de Severidad (Gravedad, Según otros autores), Ocurrencia (Frecuencia) y Detección (Detectabilidad).

La ocurrencia se clasifica según la probabilidad de falla, que representa el número relativo de fallas anticipadas durante la vida de diseño del artículo. (Peldez, 1995)

La gravedad se clasifica según la gravedad del efecto del modo de falla. Los efectos de un modo de falla normalmente se describen por los efectos en el usuario del producto o como los vería el usuario. Por ejemplo, algunos efectos de falla comunes para los automóviles son: ruido excesivo, operación intermitente, control deficiente y manejo brusco. (Peldez, 1995)

La capacidad de detección es una evaluación de la capacidad de un programa de verificación de diseño propuesto para identificar una debilidad potencial antes de que la pieza o el ensamblaje salgan a producción. (Peldez, 1995)

El cuadro de clasificación de tal índice debería diseñarlo cada empresa en función del producto, servicio, proceso en concreto. Generalmente el rango es con números enteros, en la tabla adjunta la puntuación va del 1 al 10, aunque a veces se usan rangos menores (de 1 a 5) (ESPAÑA, 2004). Es necesario que las ponderaciones se ajusten a la realidad de cada empresa y a la importancia que le enfoquen los departamentos. En este caso se aplicaron las siguientes ponderaciones:

Tabla 1. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario

Valor	Severidad (S) Criterio
1	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.
2-3	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable
4-6	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema
7-8	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.
9-10	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo

Valor	Ocurrencia (O) Criterio
--------------	------------------------------------

1	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.
2-3	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.
4-5	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.
6-8	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.
9-10	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo

Valor	Detección (D) Criterio
1	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes
2-3	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.
4-6	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción
7-8	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento
9-10	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se evalúan los índices de criticidad en base a los factores de Severidad, Probabilidad de Ocurrencia y Probabilidad de detección, La estimación de la significancia se realizó calculando el IR a través de la siguiente: (Cartín-Rojas, Villarreal, & Morera, 2014)

fórmula:

$$IR = S \times O \times D$$

Donde:

S = Severidad del riesgo

O = Probabilidad de ocurrencia

D = Probabilidad de detección

En la actualidad surgen propuestas para mejorar los criterios de priorización del AMEF tradicional, mediante varios enfoques como:

- RPR (1-1,000)

Se ha definido una nueva escala para la priorización del riesgo, que se extiende más allá de la RPR convencional. Los números enteros del 1 al 1,000 se usan para representar el riesgo creciente de las 1,000 combinaciones posibles de detección de ocurrencia de gravedad, llamadas RPR. Las 1,000 combinaciones son tabuladas por un experto para aumentar el riesgo. Las fallas que tienen un rango más alto se indican como las más importantes y se les da una prioridad más alta que las que tienen un rango más bajo. La caracterización de este sistema se basa en el conocimiento experto, generalmente en forma de reglas "If-Then", que se implementan fácilmente mediante declaraciones condicionales. (Prabhu, 2000)

- Números de prioridad de riesgo difusos (FRPN) para la priorización de los modos de falla, definido como la media geométrica ponderada difusa de los valores difusos determinados para los tres factores (S, O y D), calculados utilizando conjuntos de nivel alfa y modelos de programación lineal. El número FRPN, utiliza un método de centroides basada en conjuntos de niveles alfa. (Wang, 2007)

6. **Determinación de acciones correctoras (Mantenimiento):** Se describirá en este apartado la acción correctora propuesta. Generalmente el tipo de acción correctora que elegiremos seguirá los siguientes criterios, de ser posible: (ESPAÑA, 2004)

- Cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general.
- Cambio en el proceso de fabricación.
- Incremento del control o la inspección

A partir de las acciones correctoras consideradas se podrá emplear el mantenimiento Correctivo y Preventivo dependiendo del componente o ítem relacionado al modo de falla y su Prioridad.

Hay que considerar que el mantenimiento correctivo se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida. (AENOR, Terminología del Mantenimiento, 2018)

Mientras que el mantenimiento Preventivo es llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento. (AENOR, Terminología del Mantenimiento, 2018), teniendo en cuenta sus definiciones se podrá establecer un plan de mantenimiento.

Este último no es más que un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. (Garrido, 2003)

Las tareas de mantenimiento indican qué acción, o conjunto de acciones, debe realizar un técnico de mantenimiento para completar una orden de trabajo. (Aprendizaje, 2020)

Discusión y resultados.

La priorización de las actividades de mantenimiento es necesaria para poder combatir o mitigar los riesgos y los efectos que se desencadenen debido a una falla funcional sea esta total o parcial.

Las tareas priorizadas se encontraron de la siguiente manera:

1. Definición de la función del equipo:

Tabla 4. Parámetros técnicos de la máquina.

Modelo	JBW-A200 Polyurethane Spray Machine
Máxima presión de trabajo	15 Mpa
Longitud máxima de cañería	60 m
Temperatura máxima del fluido	80°C
Caudal máximo de salida	8 kg/min
Presión de aire requerida	0,5-0,8 Mpa 1m ³ /min
Potencia	8000 W
Voltaje	Una fase 220 V/50 Hz/35 A Tres fases 380 V/50 Hz/20 A

Dimensiones de la máquina	(550x700x1200) mm
Peso neto	150 kg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Máquina de inyección de poliuretano de alta presión.



Fuente: Empresa de Sellado de carrocerías

En base a las diferentes fuentes con que se cuenta como experiencia de los trabajadores, catálogos y el equipo de mantenimiento se pudo establecer La función principal de la máquina de Inyección de Poliuretano:

- Inyectar de forma continua espuma de poliuretano suave o rígido durante la producción de aislamientos térmicos.

2. Determinación de fallas:

Teniendo en cuenta las diferentes fuentes de información y considerando que las fallas funcionales pueden ser totales o parciales, se encontró un listado de fallos estos fallos son los que frecuentemente suelen suceder en el equipo:

- Consideramos cuando la Inyectora es Totalmente incapaz de inyectar de forma continua espuma de poliuretano suave o rígida durante la producción de aislamientos térmicos.
- Cuando la máquina Inyecta espuma de poliuretano en niveles inferiores de los estándares de funcionamientos elegidos por el usuario.

3. Determinación de los modos de falla:

Teniendo en cuenta que los modos de falla son las causa para que aparezcan las fallas, sen encontró los siguientes modos de falla según cada fallo:

Falla Total: Consideramos cuando la Inyectora es Totalmente incapaz de inyectar de forma continua espuma de poliuretano suave o rígida durante la producción de aislamientos térmicos.

Modos de fallo:

- No existe suministro de electricidad.
- Sistema electrónico descalibrado.
- No hay Presión de trabajo.
- Válvula de reguladora de presión con fugas.
- Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella.
- Fugas de calor en el calentador.
- Potencia inadecuada suministrada a la varilla de calentamiento.
- Boquilla de la pistola obstruida.

Falla Parcial: la máquina Inyecta espuma de poliuretano en niveles inferiores de los estándares de funcionamientos elegidos por el usuario

Modos de Fallos:

- Presión inadecuada de trabajo.
- Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella.
- Cañerías Parcialmente obstruidas.
- El suministro de energía no es el requerido.
- Suministro de energía intermitente.
- No se activan las alarmas del equipo.
- Temperatura inadecuada.

4. Determinación de los efectos de falla:

Los efectos de falla como sabemos indican como nos damos cuenta de que una falla se ha presentado por un modo de falla específico, es por esto que una vez que se encontró los modos de falla se procede a determinar los efectos de que existan esos modos de fallo.

Tabla 5. Modos de Falla y Sus efectos

Modos de fallo	Efectos de fallo
No existe suministro de electricidad	El equipo no enciende

Sistema electrónico descalibrado	El equipo enciende normalmente pero no se puede trabajar debido a que no se inyecta el suministro de aire adecuado ni la temperatura es la requerida
No hay Presión de trabajo	El equipo no funciona debido a a que no se presuriza el líquido utilizado
Válvula de reguladora de presión con fugas.	Se puede notar la presencia de fugas por el cuerpo o sellos de la válvula, perdiendo presión que es notable en los indicadores de presión.
Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	La válvula no regula la presión por lo cual no se puede presurizar el líquido a la hora de realizar el trabajo.
Fugas de calor en el calentador	Se evidencia que el calor es palpable y también se nota que la pistola no alcanza la temperatura adecuada
Potencia inadecuada suministrada a la varilla de calentamiento	El indicador de temperatura muestra que la varilla no produce suficiente calor para ser suministrada a la pistola
Boquilla de la pistola obstruida	El suministro de pintura se va reduciendo a medida que se realiza el trabajo.
Presión inadecuada de trabajo	Se observa que el producto final no tiene las características adecuadas debido a la falta de presión
Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	Se observa que el producto final no tiene las características adecuadas debido a la falta de presión
Cañerías Parcialmente obstruidas	El caudal de suministro de la pintura se ve reducido considerablemente
El suministro de energía no es el requerido	El equipo funciona de forma intermitente, observado que algunos elementos se queman o se desconectan.
Suministro de energía intermitente	El equipo funciona de forma intermitente, observado que algunos elementos se queman o se desconectan.
No se activan las alarmas del equipo	las diferentes alarmas del sistema de control permanecen apagadas, resultando en una condición peligrosa debido a que no se sabe si el equipo está operando o no

Temperatura inadecuada	La pintura suministrada no se adhiere de forma adecuada a la superficie a cubrir debido a su temperatura inferior a la necesaria
------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

De este modo se identificaron los efectos de fallo para considerar el riesgo y posteriormente las tareas de mantenimiento.

5. Determinación del estado actual

La evaluación de la situación actual del equipo es donde se evidencia si la empresa ha considerado tareas de mantenimiento y las ha aplicado al equipo con anterioridad.

Adicional a esto se procede a determinar el NPR, por sus siglas en inglés (Risk Priority Number), es el producto de multiplicar la severidad, la ocurrencia, y la detección o detectabilidad. El NPR es un número entre 1 y 1000 que nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla. Cuando el RPN es superior a 100 es un claro indicador de que deben implementarse acciones de prevención o corrección para evitar la ocurrencia de las fallas, de forma prioritaria. Sin embargo, el objetivo general es el de tratar todas las fallas; muchos expertos coinciden en que un RPN superior a 30 requiere de un despliegue enfocado en el tratamiento del modo de falla. (MOLINA, 2018)

Tabla 6. Estado Actual del equipo y Evaluación de Riesgos.

Time is it hello hello	Modos de fallo	Efectos de fallo	Medidas de ensayo y control previstas	S	O	D	NPR
A.1	No existe suministro de electricidad	El equipo no enciende	Ninguna	8	4	4	128
A.2	Sistema electrónico descalibrado	El equipo enciende normalmente pero no se puede trabajar debido a que no se inyecta el suministro de aire adecuado ni la temperatura es la requerida	Ninguna	8	2	4	64

A.3	No hay Presión de trabajo	El equipo no funciona debido a que no se presuriza el líquido utilizado Se puede notar la presencia de fugas	Ninguna	8	2	4	64
A.4	Válvula de reguladora de presión con fugas.	de por el cuerpo o sellos de la válvula, perdiendo presión que es notable en los indicadores de presión.	Ninguna	6	2	4	48
A.5	Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	La válvula no regula la presión por lo cual no se puede presurizar el líquido a la hora de realizar el trabajo.	Ninguna	6	2	1	12
A.6	Fugas de calor en el calentador.	Se evidencia que el calor es palpable y también se nota que la pistola no alcanza la temperatura adecuada	Ninguna	8	1	8	64
A.7	Potencia inadecuada suministrada a la varilla de calentamiento	El indicador de temperatura muestra que la varilla no produce suficiente calor para ser suministrada a la pistola	Ninguna	8	1	8	64
A.8	Boquilla de la pistola obstruida	El suministro de pintura se va reduciendo a medida que se realiza el trabajo.	Ninguna	4	7	4	112
B.1	Presión inadecuada de trabajo	Se observa que el producto final no tiene las características	Ninguna	6	2	4	48

		adecuadas debido a la falta de presión					
B.2	Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	Se observa que el producto final no tiene las características adecuadas debido a la falta de presión	Ninguna	6	2	1	12
B.3	Cañerías Parcialmente obstruidas	El caudal de suministro de la pintura se ve reducido considerablemente	Ninguna	5	7	5	175
B.4	El suministro de energía no es el requerido	intermitente, observado que algunos elementos se queman o se desconectan.	Ninguna	5	6	4	120
B.5	Suministro de energía intermitente	El equipo funciona de forma intermitente, observado que algunos elementos se queman o se desconectan.	Ninguna	5	6	4	120
B.6	No se activan las alarmas del equipo.	las diferentes alarmas del sistema de control permanecen apagadas, resultando en una condición peligrosa debido a que no se sabe si el equipo está operando o no	Ninguna	2	4	1	8
B.7	Temperatura inadecuada	La pintura suministrada no se adhiere de forma	Ninguna	7	5	5	175

adecuada a la superficie a cubrir debido a su temperatura inferior a la necesaria

Fuente: Elaboración propia.

6. Determinación de acciones correctoras (Mantenimiento):

Una vez que se ha determinado el Índice de Riesgo de cada modo de fallo, se deben ordenar los valores para poder estructurar las tareas de las que tienen mayor riesgo, hasta las de menor riesgo, de este modo se establecerá que tipo de mantenimiento se aplicará, teniendo como resultado:

De la determinación de 16 modos de falla en el equipo existen, 7 modos de falla con un índice de prioridad de riesgo alto.

Mientras que, durante el cálculo del NPR se obtuvieron valores elevados y pequeños, pero se debe tomar en cuenta que, los números elevados son a los cuales se pone más énfasis a la hora de realizar acciones correctivas.

Para definir las acciones de mayor a menor importancia se definió una escala, como se describe a continuación:

- $NPR > 100$: se toman acciones correctivas que deben ser realizadas con la mayor prontitud.
- $50 > NPR < 100$: se toman acciones correctivas que van a ser realizadas con una mediana prontitud.
- $NPR < 50$: se toman acciones correctivas que deben ser realizadas, pero en orden de criticidad son bajas.

Con estos datos se determinan las actividades de mantenimiento que prevendrán o corregirán los modos de fallo determinados, como resultado tenemos:

Tabla 7. Acciones correctoras en base al Riesgo.

Modos de fallo	Npr	Acción correctora
B.3 Cañerías Parcialmente obstruidas	175	Inspección y limpieza de cañerías
B.7 Temperatura inadecuada	150	Calibrar adecuadamente los controles de presión y temperatura

A.1	No existe suministro de electricidad	128	Revisar la alimentación eléctrica y sus parámetros
B.4	El suministro de energía no es el requerido	120	Ajuste de elementos eléctricos / Verificar parámetros eléctricos
B.5	Suministro de energía intermitente	120	Ajuste de elementos eléctricos / Verificar parámetros eléctricos
A.8	Boquilla de la pistola obstruida	112	Revisar el estado de las boquillas
A.2	Sistema electrónico descalibrado	64	Regular los dispositivos que controlan la temperatura y presión de trabajo
A.3	No hay Presión de trabajo	64	Inspeccionar la entrada de aire y su almacenamiento
A.6	Fugas de calor en el calentador.	64	Revisar el estado de los aisladores térmicos en búsqueda de condiciones anormales de funcionamiento
A.7	Potencia inadecuada suministrada a la varilla de calentamiento	64	Revisar el estado de los sensores y controladores de temperatura
A.4	Válvula de reguladora de presión con fugas.	48	Revisión del estado de la válvula reguladora en búsqueda de condiciones anormales.
B.1	Presión inadecuada de trabajo	48	Verificar y calibrar la presión de trabajo y de ser necesario cambiar sellos
A.5	Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	12	Pruebas de funcionamiento de la válvula para accionar el flujo del fluido
B.2	Válvula reguladora de presión tiene desgastados los asientos y no sella	12	Verificar el funcionamiento de la válvula de presión/ Calibración de la válvula de presión
B.6	No se activan las alarmas del equipo.	8	Ajuste de elementos eléctrico / Reemplazo de elementos de ser necesario

Fuente: Elaboración propia.

Se Puede observar que: La Inspección y limpieza de cañerías; Calibrar adecuadamente los controles de presión y temperatura; Revisar la alimentación eléctrica y sus parámetros, son

tareas que disminuirían un 42.82% de probabilidad de que el equipo presente fallas funcionales.

Conclusiones.

- Se encontró que 7 de los 16 modos de falla son potenciales causas principales para el fallo funcional del equipo por lo que se deben prevenir.
- Los modos de falla que representan mayor riesgo para el funcionamiento del equipo son: Cañerías Parcialmente obstruidas; Temperatura inadecuada; No existe suministro de electricidad en base al análisis del Número Prioritario de Riesgo.
- La Inspección y limpieza de cañerías; Calibrar adecuadamente los controles de presión y temperatura; Revisar la alimentación eléctrica y sus parámetros son las tareas más importantes que se deben llevar a cabo en el equipo para evitar fallas funcionales y así disminuir en un 42.8% de probabilidad de que el equipo falle.
- La priorización de las actividades de mantenimiento es necesarias en los sistemas que brindan un servicio por tiempos continuos de modo que estén disponibles todo el tiempo.
- El análisis de Modos y Efectos de fallo es una herramienta amigable de emplear siempre y cuando se cuente con los datos técnicos necesarios para emplearlo. Y el criterio del personal fundamentado en la herramienta.

Referencias bibliográficas.

- AENOR. (2013). Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11: Guía de aplicación; Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad. España, España.
- AENOR. (Julio de 2018). Terminología del Mantenimiento. España.
- Aprendizaje, C. d. (2020). Tipos de tareas de mantenimiento. Obtenido de UpKeep: <https://www.onupkeep.com/learning/maintenance-terms/maintenance-tasks#:~:text=Maintenance%20tasks%20indicate%20which%20action,of%20equipment%20that%20needs%20maintained.>
- Carrasco, U. (s.f.). Modos de Falla & Análisis de Efectos. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/37821847/FMEA_AMEF_Modos_de_Falla_and_An%C3%A1lisis_de_Efectos
- Cartín-Rojas, A., Villarreal, A., & Morera, A. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. SCielo, 16.
- ESPAÑA, M. D. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. Obtenido de https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba

- Garrido, S. G. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Díaz de Santos, S. A.
- Haddara, F. I. (2003). Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13.
- Ltd, A. (13 de Julio de 2013). AlterEvo Ltd. Obtenido de <http://alterevoingenieros.blogspot.com/2013/07/mantenimiento-basado-en-riesgo-las.html#:~:text=La%20norma%20Norsok%20Standard%20Z,repuestos%20y%20su%20localizaci%C3%B3n>.
- MOLINA, G. I. (2018). ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS EN LOS EQUIPOS DELAVANDERÍA DEL HOSPITAL REGIONAL DE CONCEPCIÓN. Chile: UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA.
- Moubray, J. (2004). MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD. United Kingdom: Aladon Ltd.
- Peldez, J. B. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality. *ELSEVIER*, 11.
- Prabhu, N. R. (2000). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 12.
- Wang, Y.-M. (2007). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *ScienceDirect*, 13.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Larrea Moreano, A. D., Redrobán Dilon, C. D., & Castillo Medina, A. G. (2020). Priorización del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos de una máquina de inyección de poliuretano de alta presión. *Ciencia Digital*, 4(3), 317-335. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1353>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

