

Resonancia Dinámica: Incremento de la vibración en máquina flexible por parámetros de la velocidad de operación.**Dynamic Resonance: Increase in vibration in a flexible machine due to operating speed parameters.****DOI: XXXXXXXX**Jose Daniel Acosta Robles ¹, Mario Alberto de La Cruz Padilla², Jose Angel Cruz Martinez ³,**Departamento de Mantenimiento Predictivo, Zucarmex.****Jose Acosta, dacosta@zucarmex.com , Mario de la Cruz, mario.dp@tuxtla.tecnm.mx****Zucarmex, Planta Ingenio San Cristobal S.A. de C.V., Veracruz, México,****Autor de correspondencia: dacosta@zucarmex.com****Recibido:** 8 de diciembre de 2025.**Aprobado:** 8 de diciembre de 2025.**Publicado:** 25 de marzo de 2026.**Resumen**

El análisis de resonancia dinámica es primordial para la confiabilidad operacional de la maquinaria industrial. Aunque los diseñadores e ingenieros de fabricación calculan y simulan las frecuencias naturales de los equipos en la etapa de diseño, las condiciones reales de operación en sitio suelen alterar drásticamente la respuesta dinámica, haciendo indispensable la identificación e investigación de frecuencias excitantes directamente en campo.

la cual se aplica en una maquina centrifuga separadora de masa de C, en un ingenio azucarero en México, A continuación, se describen algunos de los aspectos de mayor relevancia a desarrollar en el artículo:

- La Brecha entre el Diseño Teórico y el Entorno Operativo: Durante la fase de diseño se utilizan modelos conceptuales e ideales (elementos finitos, simulaciones dinámicas). Sin embargo, al instalar la máquina en planta, entran en juego variables no contempladas o cambiantes:
- Rigidez real y masa de la cimentación o estructura de soporte.
- Variaciones de temperatura, expansión térmica y degradación de componentes.
- Condiciones de carga variables y acoplamiento con tuberías o equipos adyacentes.
- Holguras mecánicas o desalineaciones desarrolladas durante el servicio.
- **Riesgos de Omitir la Detección en Campo:** Si una frecuencia de excitación (producida por la velocidad de giro, paso de álabes, engranes, etc.) coincide con la frecuencia natural del sistema en su configuración real de sitio, ocurre el fenómeno de **resonancia**. Esto magnifica la amplitud de vibración a niveles destructivos, provocando fatiga prematura de materiales, fallo de rodamientos y paradas no programadas.

El análisis dinámico en etapa de diseño es una condición necesaria pero insuficiente por sí sola. Garantizar la integridad operativa de la maquinaria requiere una validación en campo mediante herramientas diagnósticas avanzadas. La detección proactiva de frecuencias de

2026 Volumen 1 Número 1	Carlos Parra, Carlos Morán, Andrés Aránguiz, Félix Pizarro, Pablo Duque, Vicente González-Prida, Jorge Parra	PÁG. 35
-------------------------------	---	---------

interés en el entorno real de trabajo evita fallas catastróficas, optimiza el mantenimiento predictivo y asegura la vida útil del activo.

Palabras clave: Resonancia, Frecuencia natural, Masa, Rigidez y Velocidad Crítica.

Abstract (English Version)

Dynamic resonance analysis is crucial for the operational reliability of industrial machinery. Although design and manufacturing engineers calculate and simulate equipment natural frequencies during the design phase, actual on-site operating conditions often drastically alter the dynamic response, making it essential to identify and investigate excitation frequencies directly in the field. This analysis is applied to a C-massecuete centrifugal separator at a sugar mill in Mexico. The following sections outline some of the most significant aspects to be addressed in the article:

- The Gap Between Theoretical Design and the Operating Environment: Conceptual and idealized models (finite element analysis, dynamic simulations) are used during the design phase. However, once the machine is installed at the plant, unforeseen or changing variables come into play:
- Actual stiffness and mass of the foundation or supporting structure.
- Temperature fluctuations, thermal expansion, and component degradation.
- Variable load conditions and coupling with adjacent piping or equipment.
- Mechanical clearances or misalignments that develop during service.
- Risks of Failing to Detect Issues in the Field: If an excitation frequency (generated by rotational speed, blade pass, gears, etc.) coincides with the system's natural frequency in its actual on-site configuration, the phenomenon of resonance occurs. This amplifies vibration amplitude to destructive levels, leading to premature material fatigue, bearing failure, and unplanned shutdowns.

Dynamic analysis during the design stage is a necessary condition, yet insufficient on its own. Ensuring the operational integrity of machinery requires field validation using advanced diagnostic tools. Proactively detecting frequencies of interest within the actual operating environment prevents catastrophic failures, optimizes predictive maintenance, and safeguards the asset's service life.

Keywords: Resonance, Natural Frequency, Mass, Stiffness, and Critical Speed.

1. Introducción al término de Resonancia:

Tomando como referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases (ver Figura 1), el presente artículo, describe el proceso general de análisis de criticidad, el cual se relaciona con la Fase 2 del MGM [1, 2, 3]. Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan [4].

2026 Volumen 1 Número 1	Carlos Parra, Carlos Morán, Andrés Aránguiz, Félix Pizarro, Pablo Duque, Vicente González-Prida, Jorge Parra	PÁG. 36
-------------------------------	---	---------

El término “crítico” y la propia definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar [5, 6, 7]. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde esta óptica existe una gran diversidad de posibles criterios que permiten evaluar la criticidad de un activo de producción. Los motivos de priorización pueden variar según las oportunidades y las necesidades de la organización [8, 9, 10].

A continuación, se presentan algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización [6,11]:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallos / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos.



Figura 1: Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).

Específicamente, para el desarrollo de este capítulo, se consideraron varias de las metodologías de análisis de criticidad sustentadas en la teoría del riesgo, concepto que mezcla el factor fiabilidad (frecuencia de fallos) y el factor severidad/consecuencia del fallo (impacto de los fallos en: seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.) [6, 12]. Es importante mencionar que los resultados que se obtienen con la aplicación de las técnicas de criticidad representan la materia prima con la cual se debe iniciar cualquier proceso de implantación de técnicas de optimización de Ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. A continuación, se presenta un modelo de jerarquización basado en la evaluación del riesgo y orientado a identificar los equipos críticos de un sistema de producción [1].

En el contexto del proceso de evaluaciones de riesgo industrial, se combina el análisis de dos factores: la probabilidad/frecuencia de que se produzca un evento de fallo y el impacto que el evento de fallo causaría, tanto en la seguridad, el ambiente y la producción (costos de penalización por los fallos) [1, 5]. Las técnicas de evaluación de riesgos se pueden usar para evaluar la criticidad de los equipos/activos y alinear las acciones de mantenimiento a los objetivos claves del negocio. Al realizar esto, se asegura de que las acciones de mantenimiento sean eficaces desde el punto de vista de los principales costos asociados al mantenimiento y lo más importante sean eficientes para minimizar las consecuencias sobre la seguridad, el ambiente, las pérdidas por penalización en producción, y, en última instancia, sobre la insatisfacción del cliente [7]. El proceso de toma de decisiones detrás de la determinación de la criticidad de los activos requiere de una estructura jerárquica y de la aplicación de algunos modelos matemáticos que permitan obtener ponderaciones y prioridades de los activos a evaluar. En este estudio, los pasos a seguir para diseñar el modelo de criticidad basado en riesgo serían los siguientes [1, 7]:

- Definir un alcance y el propósito para el análisis de criticidad basada en el modelo de riesgo. Esto será definido en función de las metas del mantenimiento alineadas a las metas de del negocio y la gerencia.
- Definir el nivel de detalle del análisis (taxonomía - referencia Norma ISO 14224).
- Establecer criterios de importancia del Modelo de Riesgo: rangos de frecuencias de fallas (FF) y los factores de consecuencias (C) a ser evaluados (alineados a los objetivos del negocio) dentro del modelo de riesgo seleccionado.
- Seleccionar o desarrollar un método de evaluación de Riesgo que permita jerarquizar los sistemas del contexto operacional a ser analizado.

En los últimos años, como consecuencia de la versatilidad y adaptabilidad del proceso de análisis del factor Riesgo, se han desarrollado una diversidad de herramientas de criticidad de equipos, basadas en dicho factor, capaces de ajustarse a las necesidades de los diversos contextos industriales. A continuación, se presenta un resumen de las referencias más importantes (ver Tabla 1), relacionadas con las técnicas de criticidad basadas en Riesgo aplicadas en el área de mantenimiento:

Tabla 1: Referencias relacionadas con técnicas de criticidad basadas en el factor Riesgo.

Autor/es	Título
El-Thalji, I. [13]	Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions: Multi-Case Studies and Reflections, 2025
Liao, R.; He, Y.; Feng, T.; Yang, X.; Dai, W.; Zhang, W. [14]	Mission reliability-driven risk-based predictive maintenance approach of multistate manufacturing system, 2023
Fernández, P.M.G.; López, A.J.G.; Márquez, A.C.; Fernández, J.F.G.; Marcos, J.A. [15]	Dynamic Risk Assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning, 2022
Abbassi, R.; Arzaghi, E.; Yazdi, M.; Aryai, V.; Garaniya, V.; Rahnamayiezekavat, P. [16]	Risk-based and predictive maintenance planning of engineering infrastructure: Existing quantitative techniques and future directions, 2022
Parra, C.; Crespo, A. [7]	Criticality Analysis Methods. Based on the Risk Assessment Process, 2020

Kim, D.; Lee, Y.; Jae Lee, M. [17]	Development of Risk-Based Bridge Maintenance Prioritization Methodology, 2018
ISO 14224 [18]	Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries—Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment. International Organization for Standardization, 2016.
NORSOKZ-008 [19]	Risk Based Maintenance and Consequence Classification. Standard Norge, 2017
Crespo, A.; Moreu de León, P.; Gómez, J.; Parra, C.; López, M. [3]	The maintenance management framework, 2009
Jones, R. [12]	Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach, 1995
Woodhouse, J. [4]	Criticality Analysis Revisited, 1994
Saaty T.L. [20]	How to make a decision: the analytic prioritization process, 1990

2. Modelo de prueba de bode y seguimiento de ordenes.

Para el siguiente artículo, se toma como referencia el modelo de criticidad denominado Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo: MCCR, método diseñado para los activos de producción Off-Shore del área de Magallanes, elaborada para ENAP SIPETROL, (ver informe técnico: ENAP SIPETROL, 2015 [21]). El modelo propuesto está basado en la estimación del factor Riesgo y se ajustó y adaptó a las necesidades de una de las principales empresas del sector de Envases Biodegradables de Centroamérica, ubicada específicamente en la Ciudad de Panamá. A continuación, se presentan las expresiones generales para la evaluación del Modelo de Criticidad basado en el factor de Riesgo [1, 22, 23, 24]:

$$Riesgo = FF \times C \quad (1)$$

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos (número de fallos en un tiempo determinado)

C = Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.

Dentro del proceso de análisis de criticidad basada en Riesgo, se deben seleccionar los factores y las escalas de evaluación, relacionadas con las consecuencias y las frecuencias de los fallos. A continuación, se presentan los factores de consecuencias y frecuencias de fallos propuestos. Es importante mencionar, que los factores y escalas de evaluación seleccionados, están alineados con los objetivos estratégicos del negocio y fueron aprobados por la dirección de la empresa en estudio.

Factores ajustados a la Planta de Envases Biodegradables:

Frecuencia de fallos (FF)

1. Excelente: una ocurrencia posterior a los 12 meses
2. Bueno: al menos una ocurrencia entre 6 y 12 meses
3. Promedio: al menos una ocurrencia entre 3 y 6 meses
4. Pobre: al menos una ocurrencia entre 1 y 3 meses
5. Muy pobre: al menos una ocurrencia al mes

Consecuencias de los fallos (C)

- Impacto en Seguridad y Medio Ambiente (SHA)
- Costos directos de fallos (CDF)
- Impacto en producción (IP)

Seguridad–Higiene–Ambiente (SHA)

1. No genera ningún impacto sobre la seguridad y el ambiente
2. Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente
3. Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable

4. Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente
5. Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental)

Costes directos de fallos (CDF)

1. Costes inferiores a 100 dólares
2. Costes entre 100 y 1000 dólares
3. Costes entre 1000 y 5000 dólares
4. Costes entre 5000 y 10000 dólares
5. Costes superiores a 10000 dólares

Impacto en producción (IP)

1. Pérdida producción hasta 0.45 Ton (< 1 horas de parada)
2. Pérdida de producción entre 0.45 y 2.5 Ton ($1 < X < 5$ horas de parada)
3. Pérdida de producción entre 2.5 y 10 Ton ($5 < X < 20$ horas de parada)
4. Pérdida de producción entre 10 y 20 Ton ($20 < X < 40$ horas de parada)
5. Pérdida de producción mayores a 20 Ton (> 40 horas de parada)

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5 (ver Figura 2), donde el eje vertical está formado por cinco niveles de frecuencia de fallos, mientras que el eje horizontal está formado por cinco niveles de consecuencias de fallos.

Frecuencia					
5	A	A	MA	MA	MA
4	M	M	A	A	MA
3	M	M	M	A	MA
2	B	B	B	M	A
1	B	B	B	M	A
	1	2	3	4	5
	Consecuencias				

Figura 2: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR).

Para definir el nivel de criticidad de los equipos a ser evaluados, un grupo de expertos, analizan los factores de frecuencia y consecuencia de los fallos y le asignan a cada factor a evaluar, una calificación entre 1 y 5. En resumen, la definición de criticidad se detalla a continuación: primero se selecciona el valor asignado para la frecuencia de fallos (FF) y se define la posición vertical en la matriz del equipo evaluado, luego se toma el valor más alto, asignado a los tres factores de consecuencias de fallos (SH), (CDF) e (IP) y este valor permite definir la posición horizontal del equipo evaluado en la matriz de criticidad. Posteriormente, se toman el valor de frecuencia y el valor más alto obtenido por el lado de las consecuencias y se interceptan dichos valores en la Matriz de Riesgo (Figura 2). De esta forma, se obtiene el nivel de criticidad del equipo evaluado en la matriz de riesgo (la matriz de riesgo está dividida en cuatro regiones que representan cuatro niveles de criticidad):

B = Baja criticidad
M = Media criticidad
A = Alta criticidad
MA = Muy Alta criticidad

A continuación, un ejemplo básico del uso de la matriz Equipo para evaluar: Bomba P101:

FF: 2, Bueno (al menos una ocurrencia de fallos entre 6 y 12 meses)
SHA: 2, Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente
CDF: 3, Costes entre 1000 y 5000 dólares
IP: 4, Pérdida de producción entre 10 y 20 Ton (20 < X < 40 horas de parada) Posición final (valores a interceptar en la Matriz de Riesgo):

Frecuencia de fallos (FF): 2

Factor de consecuencias con el valor más alto, IP: 4

Posición en la matriz de criticidad: MC (Medida Criticidad)

3. Caso de Estudio: Aplicación de pruebas y desarrollo

A continuación, se presenta el caso práctico de aplicación del modelo de Matriz de Criticidad Cualitativa Basada en Riesgo (MCCR) en la empresa MOLPASA, fábrica de envases biodegradables ubicada en Panamá. El análisis de criticidad se llevó a cabo a nivel de sistemas (Nivel 5), de acuerdo con la norma ISO 14224 (ver Figura 3). La evaluación abarcó un total de 149 activos que forman parte de la planta de envases biodegradables y que están registrados como ubicaciones técnicas dentro de la estructura jerárquica del sistema de gestión de mantenimiento SAP-PM [18, 22, 25].

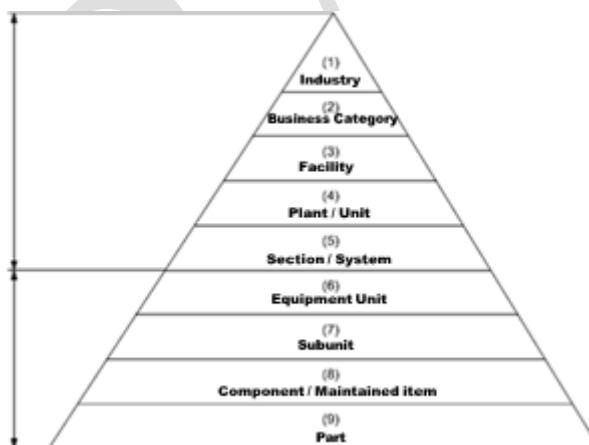


Figura 3: Propuesta de taxonomía para jerarquizar los diferentes niveles de activos físicos según la norma ISO 14224.

A continuación, se presenta un resumen del equipo y sus principales funciones. Esta cotización comprende una línea de producción completa Hartmann para la fabricación de bandejas para huevos, tipo Eggtec 75, compuesta por las siguientes secciones principales [6]:

- Sección 1.00 — Sistema de pulpa y sistema de preparación de pulpa:

El suministro de maquinaria comienza desde el inicio del proceso, donde la materia prima se carga en una cinta transportadora para su ingreso al desintegrador (pulper). Después del desintegrado, la bomba al 5% transfiere la pulpa al tanque de retención (dump chest) y,

desde allí, se bombea al tanque de almacenamiento tras un proceso de limpieza. Esta sección incluye todas las partes desde el desintegrador hasta la entrada de la máquina de moldeo: todos los tanques, dispositivos de limpieza, equipos de control y bombas.

- Sección 2.00 — Sistema de aguas blancas:

Este sistema recoge y trata el agua de proceso proveniente de la producción, incluyendo diversos tanques y bombas. Adicionalmente, el sistema puede ampliarse con un filtro de aguas blancas para minimizar el consumo de agua fresca.

- Sección 3.00 — Sistema de vacío y aire comprimido:

Comprende todos los dispositivos necesarios para generar el vacío requerido en el proceso de moldeo. El sistema de aire comprimido no está incluido y se prevé que sea suministrado localmente.

- Sección 4.00 — Máquina de moldeo:

La máquina de moldeo, basada en el reconocido diseño de 2 rotores de Hartmann, forma la pulpa en artículos húmedos con la forma del producto final. Los artículos moldeados se transfieren al sistema de secado para su procesamiento automático posterior. Durante la operación, un limpiador automático de matrices elimina los residuos del material mediante un cepillo giratorio. Un sistema automático de pulverización de aceite mantiene una película delgada sobre los moldes de prensado para minimizar la deformación de los productos durante el soplado. Una camisa térmica que cubre la rueda de succión permite un bajo consumo de energía y una alta calidad del producto. Esta sección también incluye los moldes de producción necesarios para la operación (cada juego incluye un molde de succión y uno de prensado).

- Sección 5.00 — Sistema de secado:

En este sistema, el contenido de humedad de los productos se reduce de aproximadamente un 70% a un 10%. El secador es de tipo convectivo y de múltiples niveles, donde los artículos pasan sobre portadores impulsados por dos cadenas sin fin. El sistema es calentado por aire caliente. Al finalizar, los artículos salen automáticamente y son volcados en cintas transportadoras para el tratamiento posterior.

- Sección 6.00 — Sistema de apilado y embalaje:

Esta sección incluye un sistema avanzado de cintas transportadoras de tres filas y un sistema de apilamiento con contador, operado en línea con la máquina de moldeo/secador. Se incluye también la separación automática y compresión de paquetes de bandejas para huevos, así como un túnel de envoltura por termocontracción.

- Sección 7.00 — Sistema eléctrico y de control:

Incluye todos los componentes eléctricos y de control, como el tablero principal de distribución de energía, tableros de control, centro de control de motores, arrancadores suaves, cables, equipos neumáticos, etc.

- Sección 8.00 — Accesorios:}

Esta sección comprende todos los accesorios tales como repuestos para un año de operación, herramientas de montaje para mallas metálicas en moldes de succión, tuberías, válvulas y bridas para el sistema de pulpa, escaleras y plataformas para el sistema de pulpa, sistema de dosificación de productos químicos, ingeniería, manuales y documentación, así como supervisión de la instalación.

Descripción de las funciones de los equipos que conforman la Planta de Envases Biodegradables:

- Preparación y tratamiento de la pulpa:

La cantidad correcta de materias primas (papel reciclado, productos químicos, entre otros) se coloca sobre la cinta transportadora de alimentación del desintegrador (pulper) de acuerdo con una receta predeterminada. En el desintegrador, las materias primas se mezclan con agua hasta alcanzar la consistencia adecuada. Un rotor ubicado en el fondo del equipo desintegra el papel hasta convertirlo en fibras individuales suspendidas en agua. El equipo de tratamiento de pulpa —como el limpiador de alta densidad, el clasificador de fibras (fibersorter) y una criba vibratoria— elimina las impurezas presentes en la mezcla. Antes de que la pulpa

sea conducida hacia la máquina de moldeo, su consistencia es controlada automáticamente mediante la adición de agua blanca.

- Tratamiento de aguas blancas:

El sistema de aguas blancas recoge y trata el agua de proceso proveniente de la producción. Con el fin de reducir el consumo de agua y la descarga de aguas residuales, se puede integrar un filtro de tratamiento de aguas en la planta de preparación de pulpa. El filtro por flotación elimina las fibras en suspensión presentes en el agua blanca. Posteriormente, estas fibras son reincorporadas al sistema de pulpa.

- Máquina de moldeo:

La máquina de moldeo está compuesta por una estructura general de contención (tina), una rueda de succión con moldes de succión y una rueda de prensado con moldes de prensado. Mientras la rueda de succión gira dentro de la tina, la pulpa es aspirada hacia los moldes de succión, y los artículos moldeados son drenados mediante un vacío continuo. Posteriormente, estos artículos se transfieren a los moldes de prensado ubicados en la rueda de prensado giratoria, y mediante aire comprimido son expulsados hacia los portadores del secador, que transportan los artículos a través del sistema de secado. Durante la operación, los moldes vacíos se limpian continuamente. Las fibras sobrantes adheridas a los artículos son eliminadas mediante boquillas de aspersión instaladas en la máquina de moldeo.

- Sistema de secado y calefacción de aire:

El sistema de secado está compuesto por un horno de secado y un sistema de calefacción de aire que genera aire caliente para el secado de los artículos. Este sistema, conformado por varios módulos, reduce el contenido de humedad de los productos desde aproximadamente un 70% hasta un 10%. El sistema de transporte dentro del secador está equipado con dos cadenas sin fin que sostienen portadores intermedios. El aire caliente es introducido en el secador a través de un sistema de ductos ubicado en la parte superior y se extrae por medio de ductos situados en la parte inferior. Los artículos se calientan y liberan humedad al aire de extracción. El sistema de calefacción de aire está compuesto por un calentador de aire, un ventilador de aire de proceso y un ventilador de extracción. Este sistema puede ser diseñado para operar con diferentes tipos de combustible.

- Sistema de apilado:

Al salir del secador, los artículos son automáticamente volcados desde los portadores hacia las cintas transportadoras, las cuales los conducen al sistema de apilado. Los productos son apilados en pilas organizadas.

Es importante destacar que la aplicación del modelo MCCR (Matriz de Criticidad Cualitativa Basada en Riesgo) puede realizarse en distintos niveles jerárquicos (planta, procesos, sistemas, equipos, componentes, etc.), y los resultados serán específicos para el estudio desarrollado. Por ejemplo, la criticidad de dos sistemas similares en una misma industria puede ser diferente, ya que los factores de riesgo pueden variar o tener distinta importancia relativa, dependiendo de las características del contexto operacional en el que opere cada sistema [6]. En este estudio, el equipo de trabajo natural estuvo compuesto por siete integrantes, incluyendo al facilitador y representantes de los siguientes departamentos: gerencia técnica, gerencia de mantenimiento, gerencia de operaciones, ingeniería de procesos y gestión de salud, seguridad y medio ambiente.

4. Resultados del Caso de estudio: Aplicación de la MCCR en Planta de Envases Biodegradables

Después de determinar la calificación de la frecuencia y de las consecuencias de los fallos, el siguiente paso fue determinar la criticidad de cada equipo por el método propuesto de Matriz Cualitativa de Riesgo en la planta de envases biodegradables. A continuación, se resumen los resultados prácticos aplicación de la herramienta MCCR (ver detalles en la tabla 2):

- 149 equipos evaluados (8 de septiembre 2021):
 - 2 equipos en la zona de Muy Alta Criticidad (1.34%)
 - 23 equipos en la zona de Alta Criticidad (15.43%)
 - 53 equipos en la zona de Media Criticidad (35.57%)
 - 71 equipos en la zona de Baja Criticidad (47.66%)

Es importante mencionar, que los resultados de la evaluación de la Criticidad a los 149 equipos, son el inicio del proceso de optimización. Posteriormente en la fase siguiente del proyecto, se tomarán los equipos que quedaron en las zonas de: Muy Alta Criticidad (MA) y Alta Criticidad (A) y se seleccionarán y aplicarán de forma adecuada los métodos de Ingeniería de Confiabilidad y Riesgo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), Optimización Costo-Riesgo-Beneficio, entre otros, para mejorar la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, disminuir el impacto de las consecuencias de los modos de fallos y mejorar de forma integral los costos de operación y mantenimiento, los planes de mantenimiento e inspección y el soporte logístico para todo el ciclo de vida de los activos críticos.

Tabla 2: Resultados de Matriz de Criticidad. Planta MOLPASA Panamá (1/2).

ANÁLISIS CRITICIDAD

Organización:

MOLPASA

Planta:

PANAMÁ

JERARQUIZACION POR SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

Código de Equipo	Denominación/Sistemas y Subsistemas	FRECUENCIA FALLAS	SHA	CDF	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
MP-APNW1-AFTPRS110-API_1710	PLANCHA T-735	4	2	4	3	4	16	Alta Criticidad
MP-APNW1-AFTPRS110-API_STCKAP1	APILADOR PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-AFTPRS110-API_TRANAP1	TRANSPORTADOR A PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-API_APND_1	PANEL DE CONTROL EN PLANCHA T-735	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-API_CP_API	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL PLANCHA T-735	2	2	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-API_CS_0	PANELES ESTACION TRANSPORTE A T-735	4	2	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-API_GNRPAN_1	PANELES TERMINALES Y PULSADORES T-735	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-APNW1-HDRAP110-API_HIDRAL_1	ESTACION HIDRAULICA PLANCHA T-735	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APNW1-HUMAP110-API_HUM_1710	HUMIDIFICADOR 3 ROW PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-PNEUAP110-API_PNEUM_1	ESTACION NEUMATICA PLANCHA T-735	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-API_SERVCO1_1	SERVO CORNER 3 ROW PLANCHA T-735	3	2	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-API_TP2_1710	TIPPING DEVICE A PLANCHA T-735	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-API_TRANTP2_1	TRANSPORTADOR TIPPING DEVICE PLCHT-735	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_AP_1810	PLANCHA T-1317	4	2	4	3	4	16	Alta Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_STCKAP2	APILADOR PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_TRANAP2	TRANSPORTADOR PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_APND_2	PANEL DE CONTROL EN PLANCHA T-1317	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_CP_AP2	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL PLANCHA T-1317	2	2	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_CS_0	PANELES ESTACION TRANSPORTE T-1317	4	2	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_GNRPAN_2	PANELES TERMINALES Y PULSADORES T-1317	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-APWD2-HDRAP210-AP2_HIDRAL_2	ESTACION HIDRAULICA PLANCHA T-1317	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APWD2-HUMAP210-AP2_HUM_1810	HUMIDIFICADOR 4 ROW PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-PNEUAP210-AP2_PNEUM_2	ESTACION NEUMATICA PLANCHA T-1317	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_SERVCO2_1	SERVO CORNER 4 ROW PLANCHA T-1317	3	2	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_TP3_1170	TIPPING DEVICE A PLANCHA T-1317	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_TRANTP3_1	TRANSPORTADOR TIPPING DEVICE PLCHT-1317	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_ACEITE	CONDUCCION ACEITE TERMICO	2	5	5	5	5	10	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_CENZB	MANEJO DE CENZAS BIOMASA	4	3	4	2	4	16	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_COMB	COMBUSTION DE BIOMASA	2	4	5	2	5	10	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_DEPAC	DEPOSITO DE ACEITE TERMICO	1	4	3	2	4	4	Media Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_DOSFBI	DOSIFICACION DE BIOMASA	1	2	3	2	3	12	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_GASES	CONDUCCION GASES DE COMBUSTION	1	2	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-PNEUBIOM10-BIOM_PNEU	ESTACION NEUMATICA DE BIOMASA	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-ELEBIOM10-BIOM_CP_50	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL BIOMASA	2	4	3	1	4	8	Media Criticidad
MP-CALID-EQCCONTROL-EQC ONTRCALI	CJTO. EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AHLDCTDRY_15	CONJUNTO AIRE CALIENTE A HORNO	1	2	3	3	3	3	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AHLDCTHTJK_1	CONJUNTO AIRE CALIENTE A CAPOTA	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AHLDCTSCRUL	CONJUNTO AIRE CALIENTE A SCRUBBER	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10B-AHLBURNER_15	FUENTE CALOR DIRECTO A SECADOR (GAS)	1	2	4	5	5	5	Alta Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10B-AHLHEATOIL_15	FUENTE CALOR INDIRECTO A SECADO (ACEITE)	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10C-AHLPUMP_1205	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA RETORNO SCRUBBER	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10C-AHLSCRUBB_15	DEPURADOR DE AIRE DEL SECADOR (SCRUBBER)	1	3	2	1	3	3	Baja Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_CARRIER_15	CONJUNTO TRANSPORTADORES DE BANDEJAS	6	3	3	2	3	15	Muy Alta Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_DRYNG_1510	HORNO DE SECADO	4	3	1	2	3	12	Alta Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_LUBR_1510	LUBRICACION TRANSPORTADORES DE BANDEJA	3	3	2	2	3	9	Media Criticidad
MP-DRYING-ELEDY10-DRY_CP_1	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-DRYING-ELEDY10-DRY_CPAFL1	ESTACION DE CONTROL HORNO SECADO	2	2	4	3	4	8	Media Criticidad
MP-DRYING-ELEDY10-DRY_SENSR_1510	CONTROLES EN HORNO SECADOR	3	2	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-GASCOMB-GLP-GLP_TQGLP_1	SISTEMA DE TANQUE GAS COMBUSTIBLE GLP	1	5	1	3	5	5	Alta Criticidad
MP-MATPRIM-COMPACTADO-COMPACT	COMPACTADORAS DE MATERIA PRIMA	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_ASEMB_1110	PUNTE SALIDA MOLDEADORA	3	1	2	3	3	9	Media Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNW_1110	CJTO. EXPULSION DE SP-30A STACKERS	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNW_1111	CJTO. EXPULSION ESTUCHES A PLANCHA 735	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNW_1112	CJTO. EXPULSION ESTUCHES A PLANCHA 1317	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_MCHTRM_1110	CJTO. MOTRIZ DE LA CADENA A HORNO	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_CP_1	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_CS_2	ESTACION DE CONTROL MOLDEADORA	1	2	4	3	4	4	Media Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_Q_112	PANEL ELECTRIC O PRINCIPAL VACIO	1	2	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_SENSR_1110	CONTROLES EN MAQUINA MOLDEADORA	2	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_BLVVAC_1110	CJTO. SOPLADO Y VACIO MOLDEADORA	4	1	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_CRANE_1110	CJTO. DE IZAJE MANTENIMIENTO MOLDEADORA	1	1	3	1	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_DCLEAN_1111	CJTO. CEPILLO DE LIMPIEZA MOLDEADORA	2	3	3	1	3	6	Baja Criticidad

Tabla 2: Resultados de Matriz de Criticidad. Planta MOLPASA Panamá (2/2).

MP-MM-MOLD10-MM_DRIVE_1110	CJTO. MOTRIZ DE MAQUINA MOLDEADORA	4	1	2	2	2	3	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_FLUSH_1110	CJTO. REGADERAS DE LA MOLDEADORA	4	1	2	2	2	3	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_HEJACK_1110	CAPOTA DE LA MOLDEADORA	1	2	3	1	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_LUBR_1110	CJTO. DE LUBRICACION MOLDEADORA	2	2	2	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_PULCH_1110	PULP CHEST CUBA MAQUINA MOLDEADORA	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_WHEEL_1110	RUEDAS-EJES DE MAQUINA MOLDEADORA	1	1	5	5	5	5	Alta Criticidad
MP-MM-PMPFL10C-MM_PUMP_1205	CJTO. BOMBA MOTOR PASTA A MOLDEADORA	2	1	4	5	5	10	Alta Criticidad
MP-MM-PMPFL10C-MM_PUMP_1206	CJTO. BOMBA MOTOR DILUCION A MOLDEADORA	2	1	4	5	5	10	Alta Criticidad
MP-MM-PNEUM10-MM_PB_2	ESTACION NEUMATICA MAQUINA MOLDEADORA	4	2	2	2	2	3	Media Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_COLTOW_1112	TORRE DE ENFRIAMIENTO	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_PUMP_1112	CJTO. BOMBA DE VACIO MOLDEADORA	2	1	4	4	4	3	Media Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_PUMP_1204	CJTO. BOMBA MOTOR TANQUE SEPARADOR MO	2	1	2	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_PUMP_1208	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A TORRE ENFRIAM	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_SEALCH_1409	TANQUE AGUA DE SELLO BOMBA DE VACIO	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VA_C_VACCH_1404	TANQUE SEPARADOR VACIO MOLDEADORA	1	2	3	3	3	3	Baja Criticidad
MP-PRINTER-ELPR10-PRNT_CPRT_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL IMPRESORA	2	1	4	4	4	3	Media Criticidad
MP-PRINTER-PNEUPRT10-PRNT_PNEUPR	ESTACION NEUMATICA IMPRESORA	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-PRINTER-PRNT10-PRNT_DENEST_19	ALIMENTACION A IMPRESORA ESTUCHES	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-PRINTER-PRNT10-PRNT_PRINTER_1	IMPRESORA DE ESTUCHES	3	1	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-PRINTER-PRNT10-PRNT_PRTLTR_19	CABEZALES IMPRESION LATERAL Y SUPERIOR	3	2	4	4	4	12	Media Criticidad
MP-PRINTER-PRNT10-PRNT_STCKPRT_1	APILADOR DE ESTUCHES IMPRESOS	3	1	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUAFRESCA-GAL_1	SISTEMA DE TANQUES DE AGUA FRESCA	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUAPOZO-PUMP_P	BOMBAS DE POZO DE AGUA	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUARESID-GAL_FIL	SISTEMA DEL FILTRO PRENSA	4	4	3	1	4	16	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUARESID-GAL_LAY	SISTEMA DE LAVADO DE BANDEJAS	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUASERV-BANLADN	SISTEMA AGUAS SERVIDAS BANOS ADMINISTR	3	3	2	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUASERV-BANLOPE	SISTEMA AGUAS SERVIDAS BANOS AREAS OPER	3	3	2	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUASERV-PTAR	SISTEMA DE TRATAMIENTO A AGUAS SERVIDAS	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-A GUASERV-SAL_VES	SISTEMA AGUAS SERVIDAS VESTUARIOS Y BAN	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AIRECOMPR-GAL_CO	SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE COMPRIMI	2	4	4	4	4	3	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-CLIMATIZ-CLIMATIZ	SISTEMA DE CLIMATIZACION AREAS DE PLANTA	2	2	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DETECCIN-DETECC	SISTEMA DE DETECCION DE INCENDIO	2	5	3	1	5	10	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-GAL_BI	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN GALERIA BIOMAS	1	3	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-GAL_FI	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERIA FILTRO PRENS	1	3	2	1	3	3	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-GAL_MA	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERIA MATERIA PRIM	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-GAL_PA	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERIA DE PRODUCC	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-OFLAD	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN OFICINAS ADMIN	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_AU	SISTEMA DE AUTOMATIZACION Y CONTROL	1	2	2	2	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_EL	SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA PRINCIPAL	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_EL	SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA SECUNDARIA	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_GA	SISTEMA ELECTRICIDAD GARITA DE VIGILANCIA	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_TR	SISTEMA TRANSFORMACION ELECTRICA PRINC	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBLEC-SAL_VS	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN VESTUARIOS	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-EMERGELCT-SAL_P	SISTEMA DE PLANTA DE EMERGENCIA	1	5	4	1	5	5	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-ESTACMANG-ESTAC	SISTEMA ESTACION DE MANGUERAS C-I EN PLA	2	5	3	1	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINCINC-EXTINCIN	SISTEMA DE EXTINCION INCENDIO EN PLANTA	2	5	4	1	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINCINC-GAL_BOM	SISTEMA DE BOMBA CONTRA INCENDIO	2	5	4	3	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINTOR-EXTINTOR	SISTEMA DE EXTINTORES CONTRA INCENDIO	3	5	2	1	5	15	Muy Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-PARARAYO-PRAYOP	SISTEMA DE PARARRAYOS Y PUESTA A TIERRA	1	5	3	1	5	5	Alta Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_CPST_1	PANEL DE CONTROL EN STACKERS	2	2	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_SENSR_1	CONTROLES EN STACKERS SP-30	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_STCKND	PANEL NODO APILADO Y COMPRESION	3	2	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #1 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #2 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #3 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLNLAGIT_1109	AGITADOR DEL STORAGE CHEST	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLNFS_1107	FIBER SORTER	4	1	2	2	2	9	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_HDC_1105	LIMPIADOR DE ALTA DENSIDAD	3	1	2	3	3	9	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_PUMP_1203	CJTO. BOMBA RECIRCULACION STORAGE CHES	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_STGCHL_1402	TANQUE STORAGE CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_VBSC_1108	ZARANDA	3	1	2	1	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_CP_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_CS_1	ESTACION DE CONTROL PULPER	1	1	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_Q_103	PANEL ELECTRICO PULPER	1	1	4	2	4	4	Media Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_Q_107	PANEL ELECTRICO FIBER SORTER	1	1	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_SEG_1	CJTO. SEGURIDAD PREPARACION PASTA	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_CLFCHL_14	TANQUE CLARIFIED WATER CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A LIMPEZA PULPA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR A REGADERA PALMA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A SCRUBBER	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR DE AGUA A PULPER	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR A REGADERA AGUAS	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_PUMP_120	CJTO. BOMBA MOTOR DILUCION CONSISTENCIA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10A-PPFL_WHWCHL_1	TANQUE WHITE WATER CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PMPFL10B-PPF2_AKDC_130	SISTEMA DE QUIMICOS PREPARACION DE PASTA	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_0	ESTACION NEUMATICA PULPER	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_101	ESTACION NEUMATICA ZARANDA	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_106	ESTACION NEUMATICA LIMPIADOR CENTRIFUGO	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_107	ESTACION NEUMATICA FIBER SORTER	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_AGIT_1104	AGITADOR DEL DUMP CHEST	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_CONV_1101	TRANSPORTADOR MATERIA PRIMA A PULPER	1	1	2	2	2	2	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_DURCH_1401	TANQUE DUMP CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PL_P_1103	DESFIBRADOR PULPER	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PUMP_1201	CJTO. BOMBA MOTOR SALIDA PULPER	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PUMP_1202	CJTO. BOMBA MOTOR DUMP CHEST	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_SWPIT_1412	ACHIQUE SISTEMA PULPEO	1	2	3	1	3	3	Baja Criticidad

5. Consideraciones Importantes del Proceso de Aplicación de la herramienta MCCR

Un factor clave para el éxito en la implementación de un proceso de Análisis Integral de Criticidad basado en Riesgo, es que la alta gerencia de la organización, es decir, quienes tienen la autoridad de tomar decisiones y actuar sobre las recomendaciones generadas a partir de los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta MCCR, estén involucrados en la definición y aprobación de los factores a considerar en el diseño de la herramienta de análisis de criticidad. Por otra parte, los planes de acción para implementar medidas de control de riesgos deben tener objetivos SMART (Specific, Measurable, Agreed, and Realistic Timescales) [24]. Para que las medidas de control de riesgos propuestas sean SMART, se requiere que la gerencia, los profesionales y los técnicos de las diferentes áreas que participan en la aplicación de la herramienta MCCR, tengan un buen conocimiento tanto del contexto operacional como de la forma en que los activos cumplen sus funciones, para lo cual deben desarrollar una discusión constructiva sobre lo que deben incluir los planes de acción y de cómo se deben implementar los mismos. No todas las medidas de control de riesgos propuestas a partir de los resultados de la MCCR, serán implementadas en el corto plazo, pero aquellas con mayor prioridad deben ser ejecutadas de inmediato. Al establecer prioridades, se debe guiar por la magnitud del riesgo (frecuencia y gravedad del daño). Como recomendación, pregúntese: ¿Qué es esencial para garantizar la salud, el ambiente y las operaciones de forma eficaz y eficiente?, ¿Qué no puede dejarse para otro día?, ¿Qué tan alto es el riesgo para los empleados, si esta medida de control de riesgos no se implementa de inmediato?

En el caso de que el nivel de criticidad sea muy alto, se debe actuar de inmediato, el no implementar medidas para controlar riesgos graves e inminentes es totalmente inaceptable. Para aquellos equipos cuya criticidad no genere riesgos altos, las medidas de control deben incluirse en planes de acción de mediano o largo plazo. Cada medida de control debe asignarse a un plazo específico y a una persona responsable de su implementación. Es crucial que una persona específica, preferiblemente un director, socio o gerente senior, sea responsable de garantizar que el plan de acción en su totalidad se lleve a cabo. Esta persona no necesariamente tiene que realizar el trabajo por sí misma, pero debe supervisar el progreso del plan de acción de control de riesgos. El progreso del plan debe revisarse regularmente. Cualquier desviación significativa del plan debe explicarse y las medidas de control de riesgos reprogramarse, si corresponde. Los empleados y sus representantes deben mantenerse completamente informados sobre el contenido del plan de acción de control de riesgos y el progreso en su implementación [24, 25].

6. Conclusiones

La aplicación correcta de los métodos cualitativos de Análisis de Criticidad puede ayudar a los niveles gerenciales y técnicos a tomar decisiones más eficientes, direccionando de forma correcta tanto los recursos económicos y humanos en los procesos relacionados con la operación y el mantenimiento de los activos industriales [1]. Es importante que la gerencia de mantenimiento entienda que los modelos de criticidad a diseñar o a utilizar, deben alinearse con los objetivos del negocio y no cometer el error de desarrollar herramientas de criticidad donde solo se incluyan factores particulares del proceso de mantenimiento, con respecto a este punto, el utilizar modelos de criticidad basados en el factor Riesgo, son muy interesantes, ya que el proceso de análisis de Riesgo, permite evaluar el impacto de los factores inherentes al proceso de mantenimiento y adicionar la evaluación de factores tales como: producción, calidad, costos de pérdidas de producción, seguridad, ambiente, etc. En relación específica a la gestión del mantenimiento, los resultados de un proceso de análisis de criticidad, permitirán que se puedan desarrollar estrategias de mantenimiento con un enfoque de optimización basado en Riesgo [26]. A continuación, se presentan algunas fortalezas y debilidades a tener en cuenta para el desarrollo de un Modelo Cualitativo de Criticidad basado en Riesgo.

Fortalezas:

- Es una buena ocasión para unificar los criterios de criticidad en torno al proceso de análisis de riesgos
- Es una técnica sencilla y de muy fácil aplicación (su implantación es rápida)
- Ayuda a estandarizar los escenarios de priorización por riesgos de sistemas/procesos
- Introduce y difunde el concepto de Riesgo (indicador que permite integrar los factores de frecuencia y consecuencias de los fallos sobre la seguridad, el ambiente, la calidad, las operaciones, etc.)
- No requiere de recursos adicionales (de altos costos), con excepción del tiempo de dedicación para desarrollar el modelo ajustado a las necesidades de la organización en estudio

Debilidades:

- Los métodos cualitativos de Riesgo, generan un alto nivel de incertidumbre, por lo cual hay que tener mucho cuidado con los criterios a evaluar y con el sector industrial donde se estén utilizando
- Las mejoras reales que se obtienen de un proceso de análisis de criticidad, van a depender de las acciones posteriores que se generen sobre los equipos críticos, después de haber realizado los análisis de criticidad (esta metodología depende de la aplicación posterior de otros métodos de mejora, por ejemplo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), RBI (Risk Based Inspection, etc.).
- Depende mucho de la información disponible (factor clave, contar con personas expertas), a tal punto, que puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos
- Al ser una técnica cualitativa, aunque sistemática, no hay una valoración real de la frecuencia y de las consecuencias de los fallos.

Finalmente, los resultados obtenidos de la aplicación efectiva de la metodología MCCR (Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo), guiará a los Gerentes de Activos Industriales a tomar decisiones más eficientes y con un menor grado de incertidumbre, en las actividades relacionadas con la asignación y distribución de recursos humanos, técnicos y económicos dentro de los procesos de Mantenimiento y Operación, ayudando de esta forma, a maximizar la rentabilidad de los productos manufacturados en la Planta de Envases Biodegradables, a lo largo de todo el ciclo de vida industrial.

7. Referencias

[1] Parra, C., Tino, G., Parra, J. A., Viveros, P., & Kristjanpoller, F. A. (2022). Criticality analysis techniques applied to optimize maintenance management processes: Tools based on the qualitative and quantitative risk model. In V. González-Prida, C. Márquez, & A. Márquez (Eds.),

2026 Volumen 1 Número 1	Carlos Parra, Carlos Morán, Andrés Aránguiz, Félix Pizarro, Pablo Duque, Vicente González-Prida, Jorge Parra	PÁG. 48
-------------------------------	---	---------

- Cases on optimizing the asset management process (pp. 180–207). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7943-5.ch008>
- [2] Parra, C., & Crespo, A. (2015). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos (2nd ed.). INGEMAN. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083>
- [3] Crespo Márquez, A. (2007). The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance. Springer Verlag. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16765.38884>
- [4] Woodhouse, J. (1994). Criticality analysis revisited. The Woodhouse Partnership Limited.
- [5] Crespo, A., Moreu de León, P., Gómez, J., Parra, C., & López, M. (2009). The maintenance management framework. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- [6] Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024). Implementation of the asset management, operational reliability and maintenance survey in recycled beverage container manufacturing lines. Information, 15(12), 784. <https://doi.org/10.3390/info15120784>
- [7] Parra, C., & Crespo, A. (2020). Whitepaper V: Criticality analysis methods based on the risk assessment process. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales.
- [8] Mitchell, J. (1998). Physical asset management handbook. Clarion Technical Publishers.
- [9] Viveros, P., Parra, C., Kristjanpoller, F., Gonzalez-Prida, V., & Crespo, A. (2020). Life cycle cost techniques for decision making in maintenance optimization: Case study in oil and gas industry. DYNA Management, 8(1), 20 pages. <https://doi.org/10.6036/MN9825>
- [10] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo, A., & Gonzalez-Prida, V. (2021). Audit and diagnosis in asset management and maintenance applied in the electrical industry. DYNA, 96(3), 238. <https://doi.org/10.6036/10037>
- [11] Kristjanpoller, F., Crespo, A., Barberá, L., & Viveros, P. (2017). Biomethanation plant assessment based on reliability impact on operational effectiveness. Renewable Energy, 101, 301–310.
- [12] Jones, R. (1995). Risk-based management: A reliability-centered approach (1st ed.). Gulf Publishing Company.
- [13] El-Thalji, I. (2025). Emerging practices in risk-based maintenance management driven by industrial transitions: Multi-case studies and reflections. Applied Sciences, 15(3), 1159. <https://doi.org/10.3390/app15031159>
- [14] Liao, R., He, Y., Feng, T., Yang, X., Dai, W., & Zhang, W. (2023). Mission reliability-driven risk-based predictive maintenance approach of multistate manufacturing system. Reliability Engineering & System Safety, 236, Article 109273.
- [15] Fernández, P. M. G., López, A. J. G., Márquez, A. C., Fernández, J. F. G., & Marcos, J. A. (2022). Dynamic risk assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning. Reliability Engineering & System Safety, 223, Article 108359.
- [16] Abbassi, R., Arzaghi, E., Yazdi, M., Aryai, V., Garaniya, V., & Rahnamayiezekavat, P. (2022). Risk-based and predictive maintenance planning of engineering infrastructure: Existing quantitative techniques and future directions. Process Safety and Environmental Protection, 165, 776–790.
- [17] Kim, D., Lee, Y., & Jae Lee, M. (2018). Development of risk-based bridge maintenance prioritization methodology. KSCE Journal of Civil Engineering, 22, 3718–3725.
- [18] International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. <https://www.iso.org/standard/61010.html>
- [19] Standard Norge. (2017). NORSOK Z-008: Risk based maintenance and consequence classification. <https://online.standard.no/en/norsok-z-008-2017>
- [20] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic prioritization process. European Journal of Operational Research, 48(1), 9–26.
- [21] ENAP SIPETROL. (2015). Matriz de evaluación y gestión de riesgos para la confiabilidad operacional, diseñada para los Yacimientos Pampa del Castillo — La Guitarra (ENAP INF-10-2015-CONF1). Santiago de Chile, Chile.
- [22] Parra, C. (2002). Aplicación de la técnica de proceso de análisis jerárquico (AHP) en los sistemas de refinación y producción de la industria petrolera (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).

- [23] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic prioritization process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- [24] Parra, C., González-Prida, V., Candón, E., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., & Crespo, A. (2020). Integration of asset management standard ISO 55000 with a maintenance management model. In A. Crespo Márquez, D. Komljenovic, & J. Amadi-Echendu (Eds.), *Proceedings of the 14th World Congress on Engineering Asset Management* (pp. 189–200). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17
- [25] Parra, C., Tino, G., Parra, J., Crespo, A., Viveros, P., Kristjanpoller, F., & González-Prida, V. (2021). Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales: Caso de estudio línea de manufactura de envases biodegradables. *INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10422.52802/3>
- [26] Parra, C., & Crespo, A. (2015). Review of the basic processes of a maintenance and reliability management model. In *Project: Design and construction of the third set of locks in the ACP (Autoridad del Canal de Panamá). INGECON—INGEMAN—MWH GLOBAL*.

Declaración ética

Conflicto de Interés: Nada que declarar. **Financiamiento:** Nada que declarar. **Revisión por Pares:** Doble ciego.



Todo el contenido de la RIMCEO — Revista de Activos de Ingeniería en Mantenimiento, Confiabilidad y Excelencia Operacional, está licenciada bajo Creative Commons, a menos que se especifique lo contrario o se trate de contenido recuperado de otras fuentes bibliográficas.

2026 Volumen 1 Número 1	Carlos Parra, Carlos Morán, Andrés Aránguiz, Félix Pizarro, Pablo Duque, Vicente González-Prida, Jorge Parra	PÁG. 50
-------------------------------	---	---------