

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE AUMENTO DE CONFIABILIDAD A EQUIPO CRÍTICO
MEDIANTE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno: Matías Osvaldo Céspedes Armijo

Profesor Guía: Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título. Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de aumento de confiabilidad a equipo crítico mediante mantenimiento basado en condición.

Nombre del candidato(a): Matias Osvaldo Cespedes Armijo

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: San Joaquín

Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR Guía/director DE TESIS

Yo **Pablo Andrés Duque Ramírez**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo, o El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución,

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción).

4.- FIRMAS

Profesor(a) Guía o director(a) de memoria o tesis:

27-04-26 Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

27/04/26 Firma: _____



AGRADECIMIENTOS

A mi familia.

RESUMEN

Esta tesis propuso una solución técnica y económica para aumentar la confiabilidad del equipo crítico Mixer 5 en la planta Goodyear Chile. Se proyecta un aumento de la confiabilidad desde un 37% a un 61% mediante la implementación del CBM propuesto.

Cabe destacar que el estudio se realizó sin tener mucha información por parte de la empresa, no se contaban con registros históricos de falla, por lo tanto, se consideraron eventos reales de fallas catastróficas, cuyos costos oscilan entre los 60 a 70 millones en pérdidas por repuestos y producción, con una frecuencia de falla de 1 evento por año.

Se cumplieron tres objetivos específicos: primero, se diagnosticó el estado actual del mantenimiento, identificando al Mixer 5 como el equipo más crítico mediante la matriz de criticidad ABC y la descomposición funcional según la norma **ISO 14224**. Segundo, se aplicó FMECA para priorizar modos de falla como sobrecalentamiento, desgaste de engranajes y contaminación del aceite, alineando el monitoreo con la norma **ISO 17359**. Tercero, se diseñó un plan de implementación que incluyó sensores de vibración, temperatura y calidad de aceite, conectados a CompactDAQ y procesados con LabVIEW, integrando además SAP PM.

La propuesta técnica se complementó con una evaluación económica: la inversión estimada fue de **\$23.578.332 CLP**, respaldada por cotizaciones reales. Se proyectó un ahorro anual de **\$14.707.767 CLP**, un **ROI de 124,8%** en dos años y un **payback de 1,6 años**. Desde el punto de vista técnico, el **MTBF** mejoró de **8.760 h a 17.520 h**, elevando la confiabilidad del equipo de **37% a 61%**. Estos resultados demuestran que el proyecto es técnica y económicamente viable, replicable en otros activos industriales y alineado con los principios de la Industria 4.0.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Capítulo 1: DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL	3
1.1. Reseña de la empresa	4
1.2. Contexto operacional	6
1.3. Proceso de manufactura del neumático	8
1.4. Determinación de equipo crítico	14
1.5. Descomposición del equipo crítico	30
1.6. Mantenimiento actual del equipo	37
Capitulo 2: PROPUESTA TÉCNICA	49
2.1. Fundamentos del Mantenimiento Basado en Condición	50
2.2. Modos de falla	54
2.3. Análisis FMECA.....	57
2.4. CBM según ISO 17359:2018.....	48
2.5. Implementación del sistema de monitoreo	67
Capitulo 3: EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA	74
3.1. Evaluación técnica	75
3.2. Evaluación económica	79
CONCLUSIONES.....	91
Referencias	92
Anexo 1. Fichas técnicas de la propuesta.....	95
Anexo2. Cotizaciones de la propuesta.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta Goodyear Chile	5
Figura 2. Diagrama de flujo producción de neumáticos genérico.....	6
Figura 3. Flujograma de proceso	7
Figura 4. Proceso de preparatoria.	9
Figura 5. Proceso de construcción	10
Figura 6. Composición de un neumático	11
Figura 7. Proceso de vulcanización	12
Figura 8. Proceso de testeo	13
Figura 9. Modelo del proceso de gestion del mantenimiento (MGM).....	14
Figura 10. Modelo del flujograma de criticidad..	16
Figura 11. Matriz de criticidad modelo CTR.	21
Figura 12. Matriz de criticidad modelo MCR.....	24
Figura 13. Flujograma de criticidad aplicado.....	29
Figura 14. Taxonomía de equipos aplicada según Norma ISO 14224:2016.....	30
Figura 15. Taxonomía ISO 14424:2016 aplicada a equipo crítico.....	31
Figura 16. Placa motor principal Mixer 5.....	33
Figura 17. Placa caja reductora principal Mixer 5.....	35
Figura 18. Motor reductor principal Mixer 5.....	36
Figura 19. Falla catastrófica BB02.....	47
Figura 20. Falla catastrófica BB09.....	48
Figura 21. Gráfica de Pareto.....	56
Figura 22. Flujograma de comunicación del CBM.....	68
Figura 23. Puntos de montaje de sensores.....	70
Figura 24. Gráfica de confiabilidad vs tiempo.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de criticidad ABC.....	25
Tabla 2. Desgloce matriz de criticidad ABC.....	26
Tabla 3. Mantenimiento Predictivo	38
Tabla 4. Costos estimados mantenimiento predictivo.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5. Costos totales del Mantenimiento Predictivo.	39
Tabla 6. Mantenimiento preventivo.....	41
Tabla7.Costos estimadosMantenimiento Preventivo.....	42
Tabla 9. Mantenimiento Correctivo.....	45
Tabla10.Costos estimadosmantenimientocorrectivo.....	46
Tabla 11.Costos totales mantenimiento correctivo.....	46
Tabla12.Modosdefallaequipocrítico.....	54
Tabla 13.Resumen de fallas clasificadas por componentes.....	55
Tabla 14.FMECA equipo crítico.....	58
Tabla15.Cronogramadeactividades.....	69
Tabla16.ImplementacionCBMsegúnNormaISO17359:2018.....	73
Tabla17.Costosdirectos.....	80
Tabla18.Costosmanodeobra	82
Tabla 19. Costos adicionales.....	83
Tabla 20. Inversión total.....	84

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento basado en condición (CBM) ha emergido como una estrategia fundamental en la gestión de activos industriales, permitiendo a las organizaciones anticipar fallas y optimizar el rendimiento de los equipos críticos.

En un contexto de alta competitividad y exigencias crecientes de eficiencia operativa, las empresas buscan minimizar los tiempos de inactividad, reducir costos de reparación y prolongar la vida útil de sus equipos.

A diferencia de los enfoques tradicionales, como el mantenimiento correctivo o preventivo, el CPM se basa en el monitoreo continuo y el análisis de datos en tiempo real, lo que habilita decisiones informadas y oportunas.

La confiabilidad de los activos industriales es un factor determinante en la eficiencia operativa de plantas de manufactura continua, especialmente en entornos de alta exigencia como el de Goodyear Chile S.A.I.C. En este contexto, el equipo Mixer 5 ha sido identificado como un activo crítico cuya indisponibilidad genera impactos significativos en la producción, los costos operacionales y la seguridad del proceso.

Actualmente, las fallas no planificadas en el Mixer 5 pueden generar pérdidas de hasta **\$60.480.000 CLP por evento catastrófico**, con una frecuencia aproximada de **una falla por año**, además de un costo anual de mantenimiento cercano a **\$108.170.692 CLP**. Estas condiciones afectan la continuidad productiva, comprometen el cumplimiento de estándares de calidad y reducen la confiabilidad del equipo, estimada en **37%** con un **MTBF de 8.760 h**.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento más avanzadas, capaces de anticipar fallas y optimizar la gestión de recursos. El mantenimiento basado en condición (CBM) se presenta como una solución efectiva, al permitir el monitoreo continuo de parámetros operacionales clave, como vibración, temperatura y calidad del aceite, facilitando decisiones informadas sobre cuándo intervenir antes de que ocurra una falla funcional.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo corresponden a:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de mejora de confiabilidad para un equipo crítico de la planta Goodyear Chile, mediante la aplicación de metodologías de análisis de criticidad, análisis de modos de falla y selección de una estrategia de mantenimiento basada en la condición del equipo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar el equipo crítico de la planta Goodyear Chile mediante la aplicación de una matriz de criticidad ABC y un análisis cualitativo basado en flujogramas de criticidad.
2. Analizar los modos de falla del equipo crítico seleccionado mediante la metodología FMECA, considerando su impacto en la confiabilidad operacional.
3. Evaluar técnica y económicamente una estrategia de mantenimiento para el equipo crítico, en función de los resultados del análisis de criticidad y de los modos de falla identificados.

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL

1.1 RESEÑA DE LA EMPRESA

Frank Seiberling a inicios de 1898 compra una fábrica abandonada en Akron, Ohio, Estados Unidos y junto a su hermano Charles, fundan The Goodyear Tire & Rubber Company, para elaborar productos derivados del caucho. La empresa fue llamada así en honor a Charles Goodyear, quien precisamente descubrió el proceso de vulcanización del caucho. En noviembre de ese año, comienza la producción de neumáticos para carruajes, neumáticos para bicicletas, almohadillas para herraduras y artículos diversos de caucho. Al año siguiente, en 1899, surge el primer neumático construido para automóviles. Se trataba de un producto efectivo que consistía en un tubo único, con paredes más bien gruesas, que se fijaba a la llanta de la rueda mediante tornillos.

Actualmente, Goodyear es una de las mayores empresas de neumáticos del mundo. Produce anualmente 184 millones de neumáticos, emplea a unas 74.000 personas y fabrica sus productos en 58 instalaciones de 23 países. Sus dos Centros de Innovación de Akron (Ohio) y Colmar-Berg (Luxemburgo) se esfuerzan por desarrollar productos y servicios de vanguardia que marquen la pauta tecnológica y de rendimiento del sector. De hecho, en sus objetivos se encuentra producir un neumático fabricado en un 100% con materiales sustentables antes del 2030.

En materia de distribución, Goodyear de Chile opera a través de una amplia red de Servitecas y Flotacentros, asegurando cobertura en todo el territorio nacional. Además, colabora con universidades y centros tecnológicos para desarrollar compuestos más eficientes y promover prácticas sustentables en la industria.

En Chile, Goodyear produce neumáticos desde hace más de 80 años y su planta de Maipú es considerada unas de las más modernas a nivel mundial. Además, en nuestro país cuenta con la más grande red de Servitecas® y distribuidores de lo largo de todo el territorio, con cerca de 60 locales que entregan un servicio automotriz integral, cuentan con gran infraestructura y una atención profesional. (Grupo prensa digital, 2023).

GOODYEAR CHILE

En mayo de 1969, Chile (gobierno de Eduardo Frei) junto a Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela firman el Acuerdo de Cartagena dando inicio al Pacto Andino. Dicho pacto favorecía la interacción económica entre estos países al aumentar las tasas arancelarias para el resto del mundo. Para ese entonces, Chile ya mantenía aranceles altos en la industria automotora, razón por la cual contaba con numerosas plantas de ensamblaje que se mantenían rentables gracias a los altos precios de venta. Esta situación era favorable para la Industria Nacional de Neumáticos S.A. (INSA), planta productiva de neumáticos ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana. Durante el régimen militar, Chile abandona el Pacto Andino (1976) repercutiendo en la rentabilidad de INSA. En 1978 el gobierno puso a la venta INSA para que recibiera capital extranjero y mejorara su gestión, siendo vendida por US\$20 millones a Goodyear quien desarrollaba su estrategia de expansión internacional. En ese entonces la planta de neumáticos contaba con 41.000 m², 500 empleados y una capacidad de 500 neumáticos/día. Con el fin del Pacto Andino para Chile, la planta de neumáticos (en adelante Goodyear Chile) poseía capacidad productiva muy superior a la demanda local, por lo cual se reenfocó la producción para abastecer al mercado europeo, principalmente Francia. En 1986, Goodyear Chile firma un acuerdo con General Motors para abastecer sus plantas de manufactura automotriz en Estados Unidos. Para finales de década, la planta contaba con 1.000 trabajadores y capacidad productiva de 4.000 neumáticos/día. (Rojas,2018).



Figura 1. Planta Goodyear Chile.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C

1.2 CONTEXTO OPERACIONAL

La planta de Goodyear Chile, ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana, es una instalación productiva estratégica para la empresa matriz The Goodyear Tire & Rubber Company dedicada a la manufactura de neumáticos tanto para el mercado local como para la exportación. Con una superficie de aproximadamente 93.000 m² y un equipo de más de 1.400 empleados, la planta tiene una capacidad de producción diaria promedio de 22.000 neumáticos, lo que la convierte en un actor clave dentro del mercado de neumáticos en Chile y América. El proceso de producción de un neumático sigue la siguiente estructura general basado en Cotes et Al., (2014).

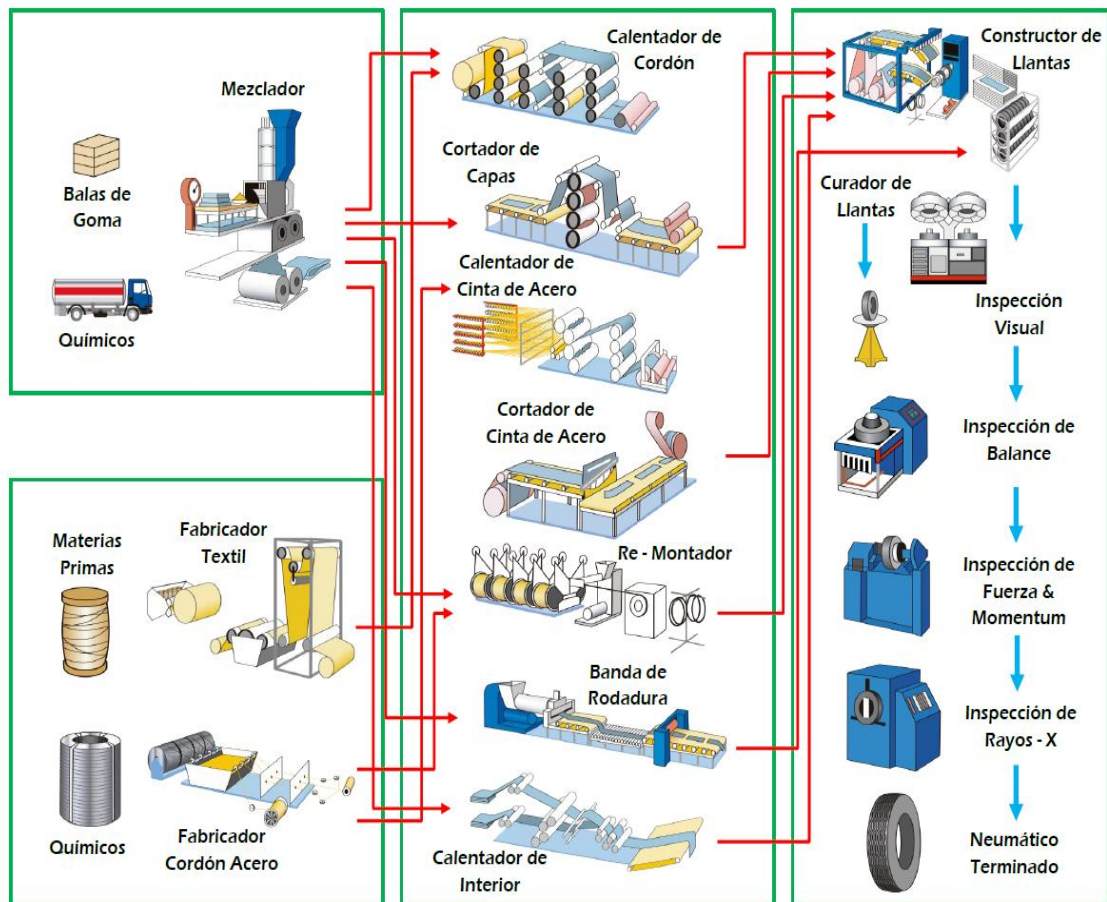


Figura 2. Diagrama de flujo producción de neumáticos genérico.

Fuente: Cotes et Al., 2014

El proceso de producción de neumáticos en la planta de Goodyear sigue un enfoque altamente automatizado y controlado ya que la fabricación se estructura en diversas etapas, que incluyen la mezcla de materiales, la construcción del neumático, el curado y finalmente el control de calidad y la distribución. La planta opera bajo un enfoque de manufactura "push", lo que significa que la producción responde a las cuotas asignadas por la sede central en Akron, Estados Unidos, aprovechando economías de escala para optimizar los costos operativos (Rojas, 2018) .

Cada una de las etapas, desde la mezcla inicial hasta la vulcanización, se supervisa rigurosamente para asegurar que los productos finales cumplan con los estándares internacionales de calidad y que respalda que la planta mantenga altos niveles de productividad y minimice los tiempos de inactividad causados por fallos no planificados.

A continuación, se describe cada una de las fases clave del proceso productivo, disponibles en Figura 2. Flujograma de proceso de manufactura de Goodyear.

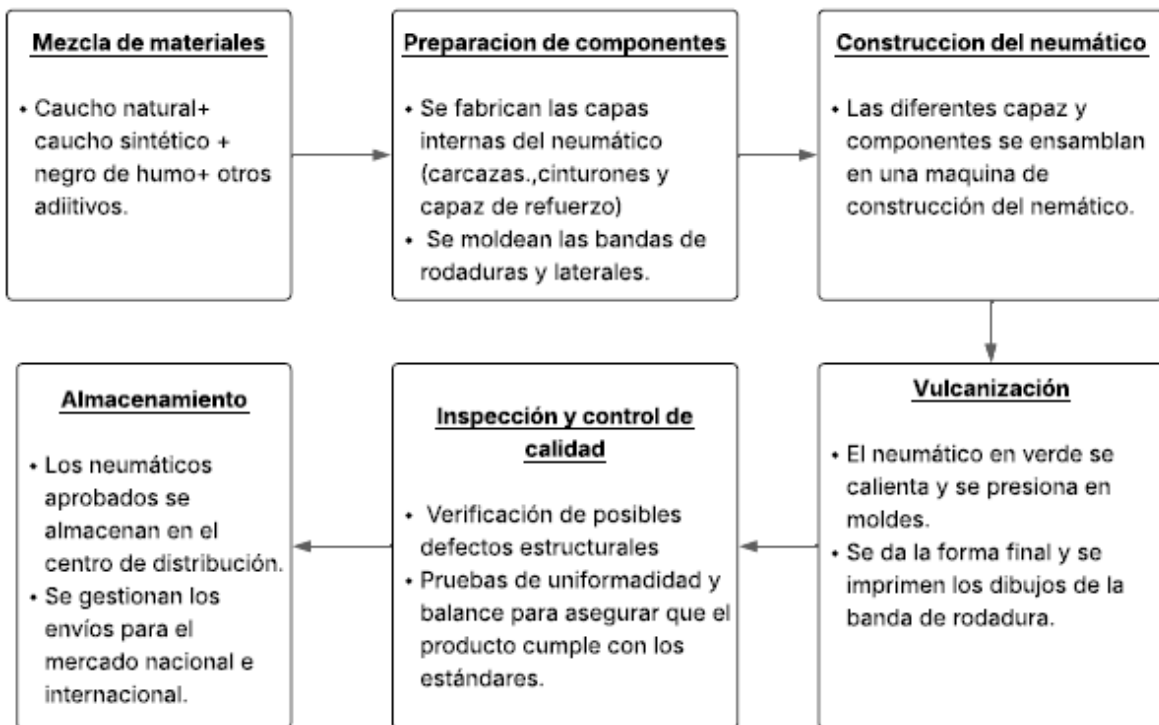


Figura 3: Flujograma de proceso

Fuente: Elaboración propia en Lucidchart.

1.3 PROCESO DE MANUFACTURA DEL NEUMÁTICO

El proceso de manufactura se inicia con la adquisición de materias primas e insumos adquiridos de industria textil, química y siderúrgica. En la primera etapa de preparación de la goma se alimenta con materia prima principalmente caucho al mezclador Banbury, una vez obtenida ésta es alimentada la extrusora, calandras, cortadoras y conformadoras. En forma paralela se alimentan con telas y acero el proceso de calandrado. Una vez obtenida la goma, está queda lista para suministrar a las máquinas de construcción, en estas máquinas se obtiene el neumático llamado neumático en verde (Rojas,2018).

El proceso continua en su etapa de vulcanizado o cocido de la goma en unas máquinas llamadas prensas, para terminar en el proceso de inspección final donde es obtenido el neumático ya terminado. Finalmente se realizan pruebas de balanceo, variación de fuerza y rayos x.

Los neumáticos aprobados son trasladados al área de almacenamiento donde se organizan y preparan para su distribución, aunque cabe señalar que la planta de Goodyear Chile cuenta con un sistema logístico eficiente que permite gestionar el almacenamiento de grandes volúmenes de producto, asegurando una rotación adecuada de inventarios y permitiendo que día a día los neumáticos sean distribuidos tanto a nivel nacional como internacional, siendo exportados a diversos países de América Latina. A continuación, se presenta cada una de las etapas detalladas:

- I. Preparatoria:** En la etapa de preparatoria se procesan las materias primas que conformarán las componentes de los neumáticos. Se reconoce caucho natural, caucho sintético, textiles (poliéster y nylon), alambre de acero y aditivos químicos que aceleran el proceso y modifican propiedades físicas. El proceso comienza con la mezcla de caucho y químicos en molinos, lo que crea láminas de goma de caucho. Una fracción de las láminas se moldean en una máquina llamada extrusora dando como resultado 3 componentes: cojines, laterales y bandas. La otra fracción de goma de caucho se combina con alambre de acero (máquinas calandra y apexer) para formar 2 componentes adicionales: breaker y pestañas. Por último, se listan 2 rodillos de telas que completan los 6 componentes de los neumáticos (Rojas,2018).









Pasos	Maquinaria	Resultado
Mezcla	Mixer (Bunbury) 	Goma de caucho 
Extrusión	Extrusora 	Cojín 
Calandra	Calandra 	Breaker 
Apexer	Apexer 	Pestañas 

Figura 4: Proceso de preparatoria.

Fuente: Elaboración propia extraído de Rojas,2018.

II. Construcción: La etapa de construcción consiste en ensamblar las componentes de los neumáticos en máquinas TBM (Tire Building Machine), las cuales cuentan con 2 cilindros que le permiten comenzar a ensamblar un neumático mientras otro ya está finalizando. De esta forma poseen un tiempo de ciclo aproximado de 2 minutos por neumático. En Goodyear Chile existen 24 máquinas constructoras que representan una capacidad productiva total de 720 neumáticos por hora. El producto de esta etapa se denomina neumático en verde y es inspeccionado visualmente para separar el scrap y enviar el resto a la zona de vulcanización (Rojas,2018).



Etapa	Máquina	Resultado
Construcción	TBM (Tunnel Boring Machine) 	Neumático en verde. 

Figura 5: Proceso de construcción.

Fuente: Elaboración propia extraído de Rojas,2018.


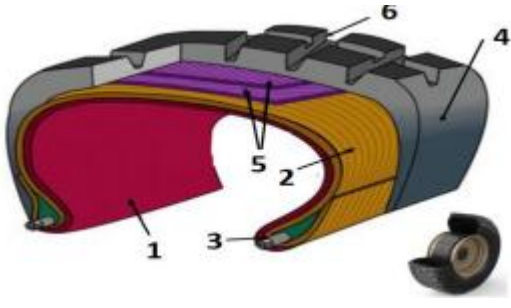
Resultado	
	
1. Cojín	Goma de caucho interior que soporta los cambios de presión de aire del neumático.
2. Telas	Dos capas de tela superpuestas al cojín que confieren mayor resistencia y lo separan del breaker.
3. Pestañas	Alambres recubiertos de caucho en forma de anillos que permiten al neumático mantener su forma de anillo
4. Laterales	Capa de caucho que brinda resistencia a los golpes laterales del neumático.
5. Breakers	Capa de alambres recubiertos de caucho que brindan firmeza externa.
6. Banda	Capa exterior de caucho que extiende la vida útil del breaker y entrega tracción al neumático.

Figura 6: Composición de un neumático.

Fuente: Elaboración propia extraído de Rojas,2018.

III. Vulcanización: A temperatura ambiente baja los neumáticos en verde se vuelven tiesos y frágiles, mientras que a altas temperaturas se tornan blandos y pegajosos. Para mejorar esta situación se realiza el proceso de vulcanización, descubierto por Charles Goodyear, el cual confiere mayor dureza y resistencia al caucho al exponerlo a vapor de azufre a altas temperaturas (Rojas,2018).

Etapa	Máquina	Resultado
Vulcanización	Prensa 	

Figura 7: Proceso de vulcanización.

Fuente: Elaboración propia extraído de Rojas,2018.

En la planta existen 119 prensas que funcionan con 2 cavidades de curado, permitiendo en el mejor de los casos la vulcanización de 238 neumáticos en paralelo. En promedio la vulcanización tarda 14 minutos, por lo que la capacidad de curado total es de 1.020 neumáticos por hora. Luego de salir de las cavidades, los neumáticos vulcanizados se transportan mediante correas automatizadas que los enfrían (por reposo) y llevan a una segunda inspección visual (para segregar el scrap).

IV. Testeo: Los neumáticos que resultan conforme y/o reparados en la inspección post-vulcanización, se transportan por conveyer (correas transportadoras en alto) para ser testeados en 2 aspectos. En primer lugar, los neumáticos ingresan a máquinas forzadoras que evalúan la uniformidad de resistencia del neumático. Luego los neumáticos se depositan en máquinas osciladoras que verifican su correcto balance. Por último, los neumáticos son llevados a la bodega final. Si los neumáticos resultan fuera de especificaciones en los test (resistencia y balance), son enviados a una estación de inspección en que se decide si pueden ser reparados (usando máquinas pulidoras) o si se clasifican como scrap. En caso de reparado, los neumáticos se reinsertan en las máquinas de testeo (Rojas,2018).

Etapa	Máquina
Forzadoras	Forzadoras 
Balanceo	Balanceadoras 
Inspección Final	Inspección, Pulido automático 

Figura 8: Proceso de testeo.

Fuente: Elaboración propia extraído de Rojas,2018.

1.4 DETERMINACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO

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. (Carlos Parra y Adolfo Crespo, 2019).



Figura 9: Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).

Fuente: Adaptado de Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (Carlos parra y Adolfo Crespo,2019)

SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO

Para este caso se optó por aplicar dos metodologías: Flujograma de análisis de criticidad(cualitativo), sumado a una matriz de criticidad ABC(cuantitativo), otorgada por el departamento de Ingeniería de Goodyear Chile S.A.I.C., donde se evaluaron **248** activos. Esta decisión se fundamenta bajo los siguientes aspectos:

1. No se cuenta con registros históricos de fallas de los equipos, por lo cual el flujograma es práctico y útil para el caso.
2. La matriz de criticidad ABC ya contiene valores ponderados por parte del equipo de ingeniería de mantenimiento de la planta Goodyear. (Ver tabla 1)
3. Se aplican metodologías del tipo cualitativo y cuantitativa para jerarquizar los equipos y darle contenido académico a esta tesis.

MATRIZ DE CRITICIDAD ABC APLICADO (CUANTITATIVO)

Área	Nombre del Equipo	Seguridad/Ambiente	Calidad/Merma	Impacto en Ticket	% de Fallas	Repuestos Críticos	Tasa de Programación	Total	Criticidad
Mixer	Mixer-1	5	5	5	3	3	6	27	A
Mixer	Mixer-2	5	5	5	3	3	6	26	A
Mixer	Mixer-3	5	5	5	3	3	6	26	A
Mixer	Mixer-4	5	5	5	3	3	6	26	A
Mixer	Mixer-5	5	5	5	3	3	6	28	A
Extruder	Extruder-01	4	4	4	2	2	5	21	B
Extruder	Extruder-02	4	4	4	2	2	5	21	B
Calender	Calender-01	3	3	3	2	2	4	17	C
Calender	Calender-02	3	3	3	2	2	4	17	C

Tabla 1. Matriz de criticidad ABC

Fuente: Elaboración propia extraída de Matriz de criticidad ABC Goodyear Chile, 2024.

Cada activo fue evaluado en las siguientes categorías: Seguridad/Medio ambiente, Calidad/Residuo, Impacto en ticket, % de fallas, Repuestos críticos y Tasa de programación, con ponderaciones de 1 a 5.

Los porcentajes para cada clasificación fueron los siguientes: Clase A (**Muy críticos**): 59 activos que corresponden al 23,79% del total de los equipos, con una ponderación de 21 a 28 puntos que los ubica en activos **muy críticos**, de alto impacto en la operación, seguridad y costos. Luego tenemos los Clase B (**Críticos**): 177 activos que corresponden al 71,37% del total de los equipos, con una ponderación de 10 a 20 puntos, ubicándolos dentro de la categoría de equipos críticos, si bien su impacto es menor que los equipos muy críticos, una acumulación de fallas de estos puede generar ineficiencia global del sistema. Y para terminar tenemos los activos Clase C (**Menos críticos**): 12 activos que corresponden al 4,84% del total de los equipos evaluados, con una ponderación de 6 a 9 puntos, que los ubica dentro de la categoría de equipos menos críticos. Total, de equipos evaluados 248 activos.

Área	Clase A	Clase B	Clase C	Total equipos
Mixer	5	5	6	16
Extruder	1	1	1	3
Calender	2	0	0	2
Cutter	2	1	4	7
Steelastic	4	2	0	6
Bead-Apexer	4	4	3	11
TBM	4	20	2	26
ASRS	7	11	9	27
Curing	7	6	0	13
Final Finish	2	10	5	17
Facilities	1	0	8	9
Utilities	12	8	10	30

Tabla 2. Desglose Matriz de criticidad ABC

Fuente: Elaboración propia extraída de Matriz de criticidad ABC Goodyear Chile, 2024.

La **Tabla 2** presenta la distribución de activos clasificados en Clases A, B y C para cada área de la planta, de acuerdo con la Matriz de Criticidad ABC proporcionada por el Departamento de Ingeniería de Goodyear Chile S.A.I.C.

El análisis por áreas revela lo siguiente:

-**Alta concentración de activos Clase A en Utilities (12), Curing (7), ASRS (7) y Mixer (5)**, lo que indica que estos procesos concentran los mayores riesgos operativos y de seguridad.

-Áreas como **Bead–Apexer** y **TBM** presentan una distribución más equilibrada entre Clases A, B y C, lo que sugiere criticidad repartida en varios equipos.

-Sectores como **Extruder** y **ASRS** muestran menor cantidad de activos críticos, pero con alto impacto específico en su función.

Dentro de los cinco equipos Clase A del área Mixer (Mixer 01 a Mixer 05), el **Mixer 5** obtuvo el **puntaje máximo posible en la matriz (28 puntos)**, destacando en todos los criterios evaluados:

- **Seguridad/Medio ambiente: 5/5**
- **Calidad/Residuos: 5/5**
- **Impacto económico: 5/5**
- **Tiempo sin operar (Breakdown %): 3/5**
- **Repuestos críticos: 5/5**
- **Tarifa de programación: 5/5**

Este resultado, sumado a su posición estratégica en la línea de producción y a la criticidad de sus funciones, lo convierte en el **candidato óptimo** para la implementación de CBM.

MÉTODO DEL FLUJOGRAMA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CUALITATIVO)

En este método se presenta una técnica que hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción. Como podemos observar en la Figura 9, el resultado del proceso es

una clasificación de nuestros Equipos en tres categorías: A, B C, siendo los equipos tipo A los equipos de mayor prioridad.

Para llegar a esa clasificación final se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo natural de trabajo conformado en la empresa para tal fin. La secuencia marca la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad del mismo. De alguna forma, el orden en la secuencia marca el peso que damos en nuestra gestión a cada uno de los atributos.

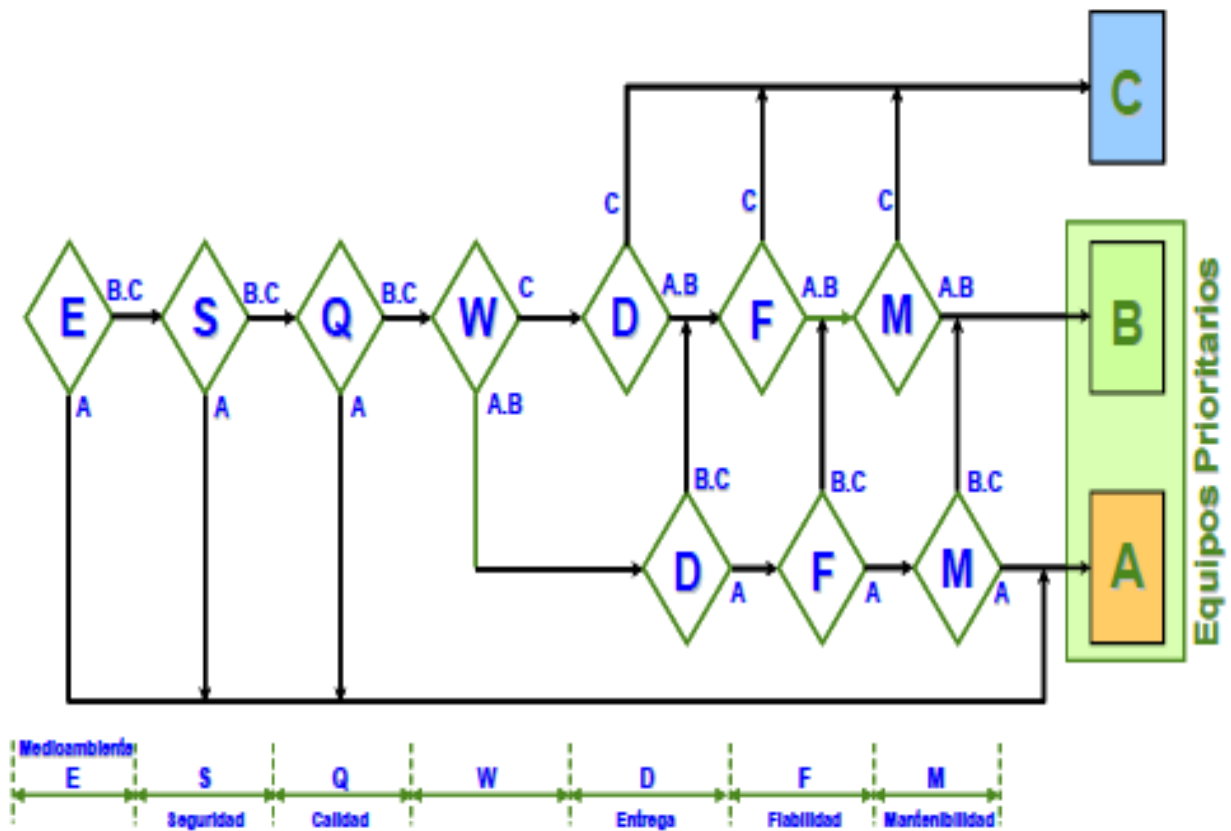


Figura 10: Modelo del flujograma de criticidad.

Fuente: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (Carlos parra y Adolfo Crespo,2019)

Para la identificación del equipo crítico, se aplicó un flujograma de análisis de criticidad de carácter cualitativo, herramienta ampliamente documentada en la literatura especializada (Parra y Crespo, 2019). Esta metodología permite clasificar los activos en función de su impacto en seguridad, calidad,

continuidad operacional, confiabilidad y mantenibilidad, particularmente en escenarios donde la información histórica es limitada.

Medio Ambiente (E)

El Mixer 5 opera con aceites industriales y componentes metálicos pesados. Un fallo podría generar derrames de lubricantes, afectando el suelo y requiriendo procedimientos de contención. Sin embargo, no se manejan sustancias altamente tóxicas ni emisiones directas al ambiente, por lo que el impacto ambiental es limitado. Se clasifica como **Categoría C**.

Seguridad (S)

El Mixer 5 cuenta con un motor de 1.500 HP y una caja reductora que transmite 172.922 lb-ft de torque. Un fallo mecánico grave puede provocar proyección de piezas metálicas, fugas de aceite caliente y riesgo eléctrico por cortocircuitos. Además, las intervenciones no planificadas implican trabajo en altura y manipulación de componentes pesados, aumentando el riesgo de caídas y atrapamientos. Estas condiciones pueden causar lesiones graves o permanentes, clasificando este criterio como **Categoría A**.

Calidad (Q)

El Mixer 5 es responsable de la mezcla homogénea de compuestos de caucho. Un fallo en este equipo afecta directamente la calidad del producto, generando lotes defectuosos que no cumplen especificaciones, lo que implica reprocesos y pérdidas económicas. Se asigna **Categoría A**.

Tiempo de Trabajo (W)

El Mixer 5 opera en régimen continuo, cubriendo tres turnos diarios. Su indisponibilidad detiene la producción completa de mezclas, impactando la programación de toda la planta. Por ello, se clasifica como **Categoría A**.

Entrega (D)

La falla del Mixer 5 afecta la entrega de compuestos a las líneas de producción, retrasando la fabricación de neumáticos y comprometiendo los plazos de entrega al cliente. Esto genera incumplimientos contractuales y penalizaciones. Se asigna **Categoría A**.

Fiabilidad (F)

El Mixer 5 es un equipo complejo con componentes críticos (motor y caja reductora) con fallas poco frecuentes, pero de alto impacto, requiriendo paradas prolongadas para reparación. Se clasifica como **Categoría A**.

Mantenibilidad (M)

Las tareas de mantenimiento del Mixer 5 son altamente especializadas, requieren repuestos importados y tiempos de intervención elevados. Esto dificulta la recuperación rápida ante fallas, aumentando la criticidad. Se asigna **Categoría A**.

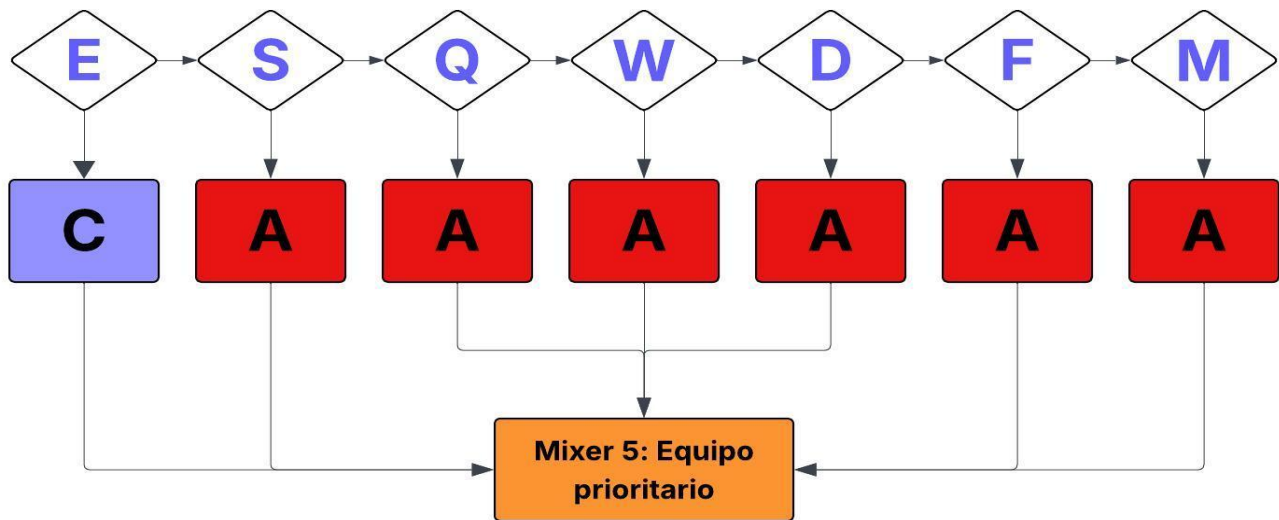


Figura 13: Flujograma de criticidad aplicado.

Fuente: Elaboración propia en Lucidchart.

El análisis mediante el flujograma cualitativo muestra que el Mixer 5 presenta alta criticidad en la mayoría de los criterios evaluados (categoría A), excepto en medio ambiente (C). Estos resultados coinciden con la matriz ABC del departamento de ingeniería, confirmando que el Mixer 5 es uno de los equipos más críticos de la organización.

1.5 DESCOMPOSICIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO

Para descomponer el equipo crítico se utilizó la taxonomía Según la norma ISO 14224:2016, De esta manera se pudo dar con los ítems mantenibles.

Taxonomía según ISO 14224

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) Una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este Estándar Internacional está representada por una jerarquía como se muestra en la Figura 12. (Norma ISO 14224;2016).

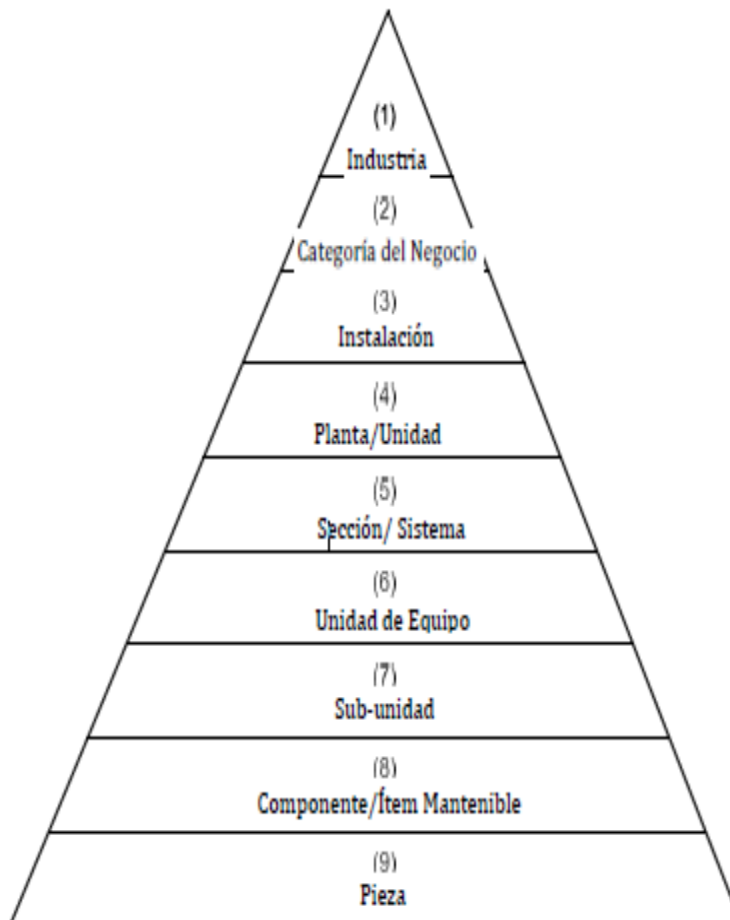


Figura 14. Taxonomía según norma ISO14224:2016.

Fuente: Norma ISO 14224:2016.

Aplicación Taxonomía ISO 14224:2016 a Mixer 5

En este estudio se aplicó la pirámide de jerarquía taxonómica según la Norma ISO 14224:2016 al equipo Mixer 5. La siguiente tabla resume la clasificación:

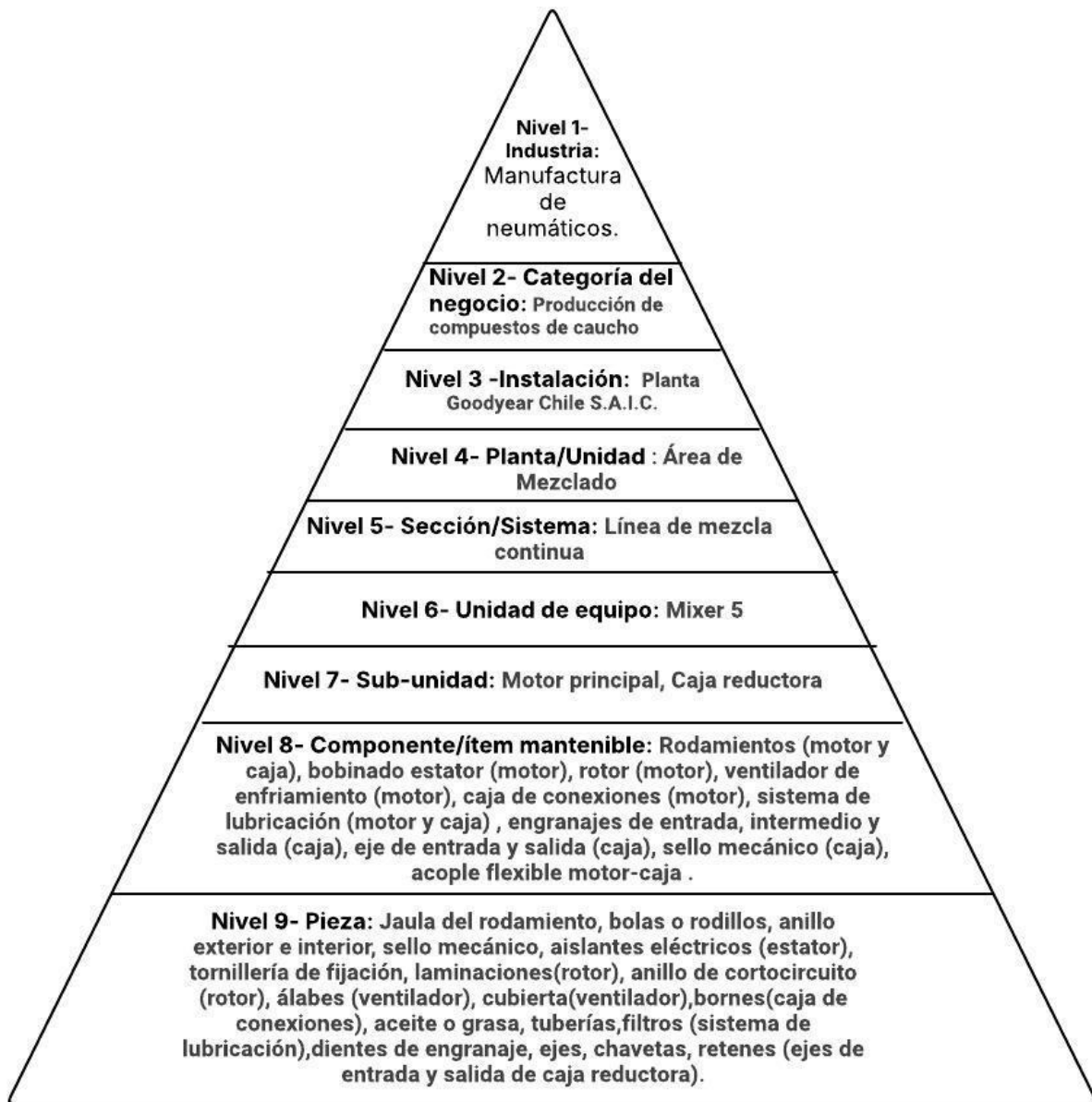


Figura 15. Taxonomía ISO14224:2016 aplicada a equipo crítico.

Fuente: Elaboración propia en Lucidchart.

Especificaciones técnicas del equipo: Motor principal

El **motor Reliance Performance Plus**, integrado al sistema motor–reductor del Mixer 5, es el componente encargado de suministrar la potencia mecánica necesaria para el proceso de mezclado de compuestos de caucho en grandes volúmenes. Sus características técnicas, obtenidas de la placa de identificación, son las siguientes:

- **Potencia nominal:** 1.500 HP, lo que le permite generar el par requerido para operaciones de alta carga en procesos continuos.
- **Velocidad de rotación:** 745 RPM, dentro del rango óptimo para garantizar un mezclado homogéneo y controlado.
- **Alimentación eléctrica:** Voltaje trifásico industrial, adecuado para aplicaciones de alta potencia y eficiencia energética.
- **Consumo de corriente:** 131 A en régimen nominal, indicador de la demanda eléctrica y del dimensionamiento de protecciones.
- **Frame:** 9240, que define las dimensiones y el tipo de montaje, asegurando compatibilidad con la transmisión mecánica.
- **Tipo constructivo:** Tipo P, con características internas específicas para soportar cargas elevadas y condiciones severas.
- **Sistema de enfriamiento:** Diseñado para operar de forma continua con un incremento de temperatura de hasta 80 °C sobre una base de 40 °C, lo que garantiza estabilidad térmica en condiciones exigentes.
- **Peso:** Peso total del motor: 19.375 lb (8.790 kg aprox.), reflejo de su robustez estructural y capacidad para soportar esfuerzos mecánicos prolongados. Peso del rotor: 3.380 lb (1.533 kg aprox.).
- **Lubricación:** Requiere la aplicación de 78 g de lubricante cada seis meses para el mantenimiento de cojinetes, lo que establece un régimen preventivo estricto.
- **Rotor y estator:** Equipados con aislamiento y diseño reforzado para soportar altas cargas y esfuerzos torsionales propios del proceso de mezclado.



Figura 16. Placa motor principal Mixer 5.

Fuente: Captura durante revisión.

Especificaciones técnicas del equipo: Caja reductora principal

La **caja reductora LUFKIN – Modelo DF-890HG**, integrada al sistema motriz del Mixer 5, desempeña un papel esencial en la transmisión de potencia desde el motor principal hacia los tornillos mezcladores. Su diseño y características permiten adaptar la alta velocidad de rotación del motor a las condiciones de torque y velocidad requeridas para el proceso de mezclado de compuestos de caucho.

- **Marca:** LUFKIN, reconocida por su fiabilidad y robustez en aplicaciones industriales de alto torque.
- **Tipo:** Caja reductora industrial acoplada a mezcladores de caucho tipo Banbury.
- **Modelo:** DF-890HG
- **Número de serie:** 7422452
- **Número de parte:** 206567
- **Relación de reducción:** 1500:1
- **Año de fabricación:** 2012
- **Torque de salida:** 3000 in-lbs
- **Velocidad de entrada:** 750 RPM
- **Potencia máxima:** 3000 HP
- **Recomendaciones de lubricación (AGMA):** Temperatura ambiente: +32°F a +125°F (0°C a 52°C) Grado AGMA recomendado: AGMA #6. Temperatura ambiente: +15°F a +60°F (-9°C a 16°C) Grado AGMA recomendado: AGMA #7. Temperatura ambiente: Bajo +15°F (< -9°C). Grado AGMA recomendado: AGMA #8.



Figura 17. Placa caja reductora principal Mixer 5.

Fuente: Captura durante revisión.



Figura 18. Motor reductor principal Mixer 5

Fuente: Capturada durante revisión.

1.6 MANTENIMIENTO ACTUAL DEL EQUIPO

El mantenimiento actual del Mixer 5 se divide en 3: Mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Para mantener el correcto funcionamiento del motor y caja reductora principal del Mixer 5, se ejecutan diferentes tareas de mantenimiento para garantizar la continuidad operacional del equipo. Estas tareas son ejecutadas por personal técnico y administrativo interno de la planta, partiendo por la planificación y programación de las actividades.

Actualmente el mantenimiento predictivo es ejecutado por un analista interno de la planta, bajo un calendario de tareas planificadas según la criticidad del equipo, según la técnica a utilizar y la frecuencia de ejecución. Estas tareas corresponden a: análisis de vibraciones, termografía y toma de muestras para análisis de aceite, es importante señalar que la toma de la muestra de aceite la realiza el equipo de lubricación interno de la planta, y el análisis de aceite lo realiza el analista predictivo. Estas actividades se realizan de forma manual, es decir, un técnico tiene que ir presencialmente en terreno a tomar estas mediciones. Lo cual implica tiempo y existe error humano a la hora de tomar las medidas.

Para el mantenimiento preventivo se utilizan recomendaciones por fabricante, tanto para el motor como para la caja reductora, destacando tareas del tipo: mediciones eléctricas a motor principal, reemplazo de aceite lubricante para caja reductora, re-engrase de rodamientos del motor principal, entre otros. Todas estas tareas implican un costo y tiempo por parte del personal técnico interno de la planta.

Para el mantenimiento correctivo existe un equipo de contingencia dividido entre técnicos mecánicos, técnicos eléctricos y personal externo (contratistas), todo esto para reducir los tiempos de falla inesperados causado por fallas potencialmente catastróficas, este último método de mantenimiento incluye costos elevados, tanto para mantención y reemplazo de componentes, como para pérdidas de producción por el equipo detenido.

A continuación, se presentan cada uno de los tipos de mantenimiento, con sus tareas y costos implicados. Importante destacar que no se cuenta con información directa de costos y planes de mantenimiento vinculados al Mixer 5, solo se obtuvo información por experiencia operativa, respaldos de mantenimiento sugerido por fabricantes y valores promedio del mercado.

Mantenimiento Sintomático

El mantenimiento predictivo actual del Mixer 5 se basa en inspecciones periódicas realizadas por personal interno de la planta, con el objetivo de anticipar fallas antes de que ocurran. El mantenimiento predictivo mejora la detección, pero depende de inspecciones manuales lo que podría llevar a error humano. A continuación, se detallan las actividades.

N°	Tarea	Descripción técnica	Frecuencia	Técnico responsable	Tiempo (h)	Costo HH (CLP)
1	Medición de vibraciones	Medición de vibraciones en rodamientos del motor y caja reductora principal	Mensual	Analista Predictivo	2	\$8.965
2	Termografía eléctrica y mecánica	Medición termográfica de tableros eléctricos y componentes mecánicos (rodamientos de motor y caja reductora principal)	Semanal	Analista Predictivo	3	\$13.446
3	Análisis de aceite lubricante	Extracción y análisis de muestra de aceite para detectar contaminación y desgaste	Mensual	Analista Predictivo	2	\$8.965

Tabla 3. Mantenimiento Predictivo.

Fuente: Elaboración propia.

Según información obtenida de Chiletrabajos,2025, un analista predictivo percibe un sueldo mensual de **\$874.120 CLP**. Mientras que, para analistas más avanzados, el salario puede ser de \$1.000.000 – \$1.500.000 CLP, según estudios de mercado y guías salariales. (Sueldos funcionarios,2025). Por lo tanto, para el cálculo de valor hora-hombre, se consideró un salario de \$874.120 CLP /mes, con una Jornada estándar: 45 horas/semana × 4,33 semanas = 195 horas/mes, por lo tanto, el valor hora hombre ≈ \$874.120 ÷ 195 ≈ **\$4.482CLP/hora**.

Costos Estimados del Mantenimiento Predictivo Actual (Anual)

Concepto	Detalle	Costo Anual (CLP)
Mano de obra	Analista predictivo (sueldo anual)	\$10.489.440
Calibración de equipos	Analizador de vibraciones (1 vez/año) + Cámara termográfica (1 vez/año)	\$360.000
Prorrateso de equipos	Analizador (CLP 5.000.000) + Cámara (CLP 3.000.000) / vida útil 5 años	\$1.600.000

Tabla 4. Costos estimados mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Costo Total (CLP)
Costo total anual del mantenimiento predictivo	\$12.449.440

Tabla 5. Costos totales del mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia.

La mano de obra del analista predictivo se calculó bajo un salario promedio de: **\$874.120 CLP/mes** (valor promedio para analista). Este valor se considera como **costo fijo del recurso humano** asignado al mantenimiento predictivo.

Según CST GROUP, el costo de calibración de equipos para un analizador de vibraciones tiene un costo de **\$150.000 – \$250.000 CLP por calibración**. y según VETO “precisión a su medida”, el costo de calibración de una cámara termográfica es de **\$159.741 CLP**, por lo tanto, se consideró un valor de **\$200.000 CLP** para calibración de equipo de vibraciones y **\$160.000 CLP** para calibración de cámara termográfica, otorgando un costo total de \$360.00 CLP. También la frecuencia recomendada de calibración para instrumentos de medición según la ISO 9001 e ISO/IEC 17025 La calibración debe ser **anual** para equipos críticos de medición, o cada 6 meses si el uso es intensivo o en ambientes agresivos (Faster industrial).

Por otra parte, el **prorrateo de equipos** significa distribuir el costo de adquisición de un equipo a lo largo de su vida útil para reflejar “cuánto cuesta usarlo cada año”.

Por ejemplo:

Si se compra un analizador de vibraciones por \$5.000.000 CLP y una cámara termográfica por \$3.000.000 CLP, y ambos tienen una vida útil estimada de **5 años**, entonces:

Costo anual prorrateado= $5.000.000+3.000.000/5=\$8.000.000/5=$ **\$1.600.000 CLP/año**, esto no es un gasto real cada año, sino una forma de **amortizar la inversión** para calcular el costo real del programa predictivo. ¿Pero para que se hace esto? En análisis económico, se busca reflejar el **costo total de propiedad (TCO)** del sistema predictivo y Permite comparar con otros planes (preventivo, correctivo) considerando la inversión en equipos.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo del Mixer 5 se realiza en base a recomendaciones del fabricante y experiencia operativa. Su objetivo es reducir la probabilidad de fallas mediante tareas calendarizadas, aunque no permite detectar fallas incipientes. A continuación, se detallan las principales actividades.

Sistema	Tarea	Frecuencia	Técnico	Tiempo (h)	Costo HH (CLP)
Eléctrico	Prueba de aislamiento con megóhmetro a motor principal	1 vez/año	Técnico eléctrico	2	\$7.114
Eléctrico	Torqueado de conexiones eléctricas en caja de conexiones de motor principal	4 veces/año	Técnico eléctrico	3	\$10.671
Eléctrico	Limpieza y reapriete de conexiones en tableros eléctricos.	4 veces/año	Técnico eléctrico	4	\$14.228
Mecánico	Lubricación de rodamientos del motor	2 veces/año	Técnico mecánico + lubricador	3	\$24.081
Mecánico	Cambio de aceite caja reductora LUFKIN	1 vez/año	Técnico mecánico + lubricador	6	\$48.162
Mecánico	Torqueado de pernos estructurales tanto de motor como caja reductora principal.	1 vez/año	Técnico mecánico	4	\$14.780
Mecánico	Alineación de ejes motor-caja reductora con equipo laser	1 vez/año	Técnico mecánico	2	\$7.390

Tabla 6. Mantenimiento Preventivo. Fuente: Elaboración propia.

Los costos HH (horas hombre) se calcularon en base al sueldo promedio de un técnico mecánico, un técnico eléctrico, y un lubricador en Chile, según fuentes laborales nacionales (Computrabajo Chile,2024) indicaron que el salario de un técnico mecánico corresponde a **\$720.619 CLP**, el salario de un técnico eléctrico corresponde a **\$693.721 CLP**, y el salario de un lubricador es de: **\$844.846 CLP**. Las horas laborales en Chile corresponden a 45hrs/semana, y considerando que un año tiene 52 semanas, el cálculo sería el siguiente: 1 año= 52 semanas

52 semanas/ 12 meses = 4,33 semanas/mes, por lo tanto: 45hrs/semana x 4,33 semanas = 195 horas/mes aproximadamente, por lo tanto, el cálculo del valor horas hombres sería:

Valor HH = Sueldo mensual / Horas mensuales.

Valor HH Técnico mecánico: $\$720.619 / 195 = \3.695 CLP/hrs aprox.

Valor HH Técnico eléctrico: $\$693.721 / 195 = \3.557 CLP/hrs aprox.

Valor HH Lubricador: $\$844.846 / 195 = \4.332 CLP/hrs aprox.

Costos Estimados Anuales del Mantenimiento Preventivo actual (Anual)

Concepto	Costo Estimado (CLP)	Fuente / Justificación
Mano de obra (Técnico eléctrico)	\$8.324.652 (al año)	Computrabajo Chile (2024)
Mano de obra (Técnico mecánico)	\$8.647.428 (al año)	Computrabajo Chile (2024)
Mano de obra (personal de lubricación)	\$10.138.152 (al año)	Computrabajo Chile (2024)
Cambio de aceite caja reductora(cada 6 meses o 2500 h).	\$2.317.350	Manual LUFKIN (2024), sección 5.6 Oil Change Intervals.+ Computrabajo Chile (2024)
Lubricación de rodamientos motor principal	\$426.648	manual del fabricante (Reliance Electric RPM AC),+ Terra hogar+ Computrabajo Chile (2024)
Parada programada (8 hrs aprox)	\$6.722.222	Calculo proporcional de fallo catastrófica extraídas de evidencias en casos reales.

Tabla 7. Costos estimados mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Costo Total (CLP)
Costo total anual del mantenimiento preventivo	\$36.576.452

Tabla 8. Costos totales mantenimiento preventivo.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de mano de obra tanto para técnico mecánico como para técnico eléctrico se multiplicó el sueldo mensual por 12 meses. $\$693.721 \times 12 = \$8.324.652$ CLP (para técnico eléctrico) $\$720.619 \times 12 = \$8.647.428$ CLP (para técnico mecánico). Mismo método

Para el cambio de aceite de la caja reductora se consideró lo siguiente: Según el manual del fabricante de caja reductoras LUFKIN, en su sección 5.6 'Oil Change Intervals', sugiere que el aceite debe cambiarse cada 6 meses o 2500 hrs. También sugiere en su sección 4.2 'Oil Type and Grade' que el aceite debe ser mineral de alta calidad, ISO VG 320. Goodyear utiliza el aceite Mobil Spartan EP 320, que cumple con esta especificación. La cantidad de aceite requerida para una caja reductora de gran tamaño es de aproximadamente 200 litros, equivalente a un tambor completo. El costo de un tambor MOBIL SPARTAN 320 de 208 litros, según **SERVISANTIAGO | VENTA DE ARTICULOS DE FERRETERIA Herramientas, Repuestos, lubricantes y Materiales de construcción, tiene un costo de \$1.089.171 CLP.** Esto sumado al costo de HH de: Técnico mecánico (**\$3.695 CLP/hrs**), Técnico eléctrico (**\$3.557 CLP**) y Lubricador (**\$4.332 CLP**). Considerando también que el tiempo para realizar esta actividad puede tomar alrededor de 6hrs. Entonces el valor para un cambio de aceite sería de: **\$1.158.675 CLP**, pero el fabricante recomienda realizarlo 2 veces al año, entonces el costo asciende a: **\$2.317.350 CLP.**

Para la lubricación de rodamientos del motor principal se consideró lo siguiente: Según la placa del motor Reliance Performance Plus y el manual del fabricante (Reliance Electric RPM AC), se recomienda aplicar 38 gramos de grasa cada 6 meses para el rodamiento del lado libre. Sin embargo, para el rodamiento del lado acople, debido a la mayor carga cíclica, se recomienda aplicar el doble: 76 gramos. Por lo tanto, la cantidad total de grasa por intervención es de 114 gramos. La grasa utilizada es Mobil Polyrex™ EM, diseñada específicamente para rodamientos de motores eléctricos. Goodyear adquiere el balde completo de 16 kg, con un costo de \$380.312 CLP, según Terra hogar. También se consideró el costo de Horas Hombres para un técnico mecánico, técnico eléctrico y lubricador. Técnico mecánico encargado del desarme de las protecciones de las tapas de los rodamientos del motor, técnico eléctrico para bloqueo de la unidad completa, y el lubricador para realizar el reengrase. Esto tiene un valor de HH de:

Valor HH Técnico mecánico: $\$720.619 / 195 = \3.695 CLP/hrs aprox.

Valor HH Técnico eléctrico: $\$693.721 / 195 = \3.557 CLP/hrs aprox.

Valor HH Lubricador: $\$844.846 / 195 = \4.332 CLP/hrs aprox.

Considerar también que el tiempo estimado para realizar esta tarea es de 2 horas aproximadamente y se debe realizar 2 veces al año según recomendación del fabricante. Entonces el cálculo sería el siguiente:

Costo lubricante: \$380.312 + HH: Donde HH tiene un valor de: \$46.336 CLP, por lo tanto, el costo total tiene un valor de: **\$426.648 CLP.**

Y finalmente la parada programada contempla un tiempo de 8hrs aprox. Según los datos presentados más adelante donde se documentan fallas catastróficas ocurridas en otros Mixer de otros países, donde data que una parada catastrófica cuesta \$60.500.000 CLP (36–72 hrs), por lo tanto, se calculó una proporción de este tiempo llevada a 8 horas: **$(60.500.000/72) \times 8 \approx 6.722.222$ CLP.**

Mantenimiento Correctivo

Este plan se fundamenta en dos fallas catastróficas documentadas: Falla en motor BB09: sobrecalentamiento por falta de lubricación, daño en rodamientos y eje. Falla en caja reductora B802: engranajes dañados por mal acoplamiento y falta de activación de sensores de posición. (Ver fichas de fallas catastróficas) y es extremadamente costoso y genera paradas prolongadas.

Tareas de Mantenimiento Correctivo

Nº	Tarea	Condición de Activación	Responsable	Documentación Técnica
1	Reemplazo de rodamientos del motor	Falla por sobrecalentamiento	Técnico mecánico senior	Ficha RCFA BB09 / SAP PM
2	Rectificación de eje del motor	Daño por caída de eje	Taller externo / técnico	Informe de inspección / RCFA BB09
3	Reemplazo de engranajes en caja reductora	Falla por acoplamiento incorrecto	Supervisor / ingeniero	Ficha RCFA B802 / RCA
4	Revisión de sensores de posición	Falla funcional	Técnico eléctrico	RCFA B802 / Informe de causa raíz
5	Revisión de sistema de lubricación	Falla por falta de aceite	Técnico mecánico	RCFA BB09 / Check-list de lubricación

Tabla 9. Mantenimiento Correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

Costos Estimados Correctivo actual (Anual)

Concepto	Costo Estimado (CLP)
Mano de obra (3 técnicos + 1 supervisor)	\$2.737.280
Repuestos (rodamientos, engranajes, sellos)	\$9.287.200
Servicios externos (rectificación, pruebas)	\$3.128.320
Pérdida de producción estimada (36-72 hrs)	\$43.992.000
Total	\$59.144.800

Tabla 10. Costos estimados Mantenimiento Correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Costo Total (CLP)
Costo total anual del mantenimiento actual	\$108.170.692

Tabla 11. Costos totales Mantenimiento Correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

EVIDENCIAS DE FALLAS CATASTRÓFICAS


Catastrophic Failure – RCFA Incident Report		Reviewed by: <i>Initials</i>
Incident Title: BB02 Gearbox Start date: 07/08/22 <small>2nd shift</small>		Process Leader _____ Plt Engr Mgr _____ Plt Mgr/Prod Dir _____
Owner: Bill Binkley End Date: 07/15/22 <small>2nd shift</small>		
Defining the Failure: Describe: BB02 gearbox locked in neutral The Failure: When: Date 07/08/22 Time 6:27pm Where: Plant Topoka Process / Area MXBC Equipment: BB02 Tasks Involved Machine new sprocket		Cause Analysis: Cause/Effect Analysis on slide 2 List contributing causes to failure in this box <div style="text-align: right;">link → </div> <ol style="list-style-type: none"> 1 Lack of training/ knowledge 2 Limit switches not activated 3 4
Impact to the Plant Goals: "The Problem" Safety no Environmental no Production/Schedule (at \$600/hr) – 144hrs \$86,400 Property/Equip./Mat's No \$0 Labor, Time GY Labor \$4,000 Contractor Support \$22,000 Lutex \$ <hr/> Cost this Incident: \$7,300		Hypothesis – Upon shifting back into 30 rpm gear was not fully engaged and upon start up, due to limit switched not active, gears slipped out causing damage to the edges.
What is Known about the Failure (Evidence): "The Facts": <ul style="list-style-type: none"> * On 07/08/22 at approx. 1pm, production shifted gearbox from 30 rpm to 40 rpm. * At approx. 5pm production went to shift back into 30 rpm * Starting back up the gearbox kicked back out into neutral. * Maintenance team notified for support * Maintenance team tried to shift between 30 and 40 with minimal luck * Maintenance team thought they got gear in place and informed production to start up * While observing start up major grinding and vibration occurred. * Mixer was shut down and began inspection * Found gear damaged <div style="text-align: right;">Evidence Link</div>		Solutions: Short Term: <ul style="list-style-type: none"> • Remove assembly and repair gear • Activate limit switches in program Long Term: <ul style="list-style-type: none"> • Train production associates how to properly shift • Investigate visual indicator for shaft speed and when to shift

Figura 19. Falla catastrófica BB02.

Fuente: Goodyear EE.UU.

La ficha documenta una falla por rotura de engranajes en la caja reductora BB02, causada por fatiga mecánica y lubricación deficiente. La reparación incluyó reemplazo de engranajes, limpieza interna y cambio de aceite con monitoreo posterior.

Catastrophic Failure – RCFA Incident Report				Communicated: <i>Initials</i>	
Incident Title: BB09 Mixer motor		Owner: Travis Peters		Failure End Date: 4/22/25	
Failure Start date: 1/31/2025				Process Leader _____	
				Plt Engr Mgr _____	
				Plt Mgr/Prod Dir _____	

<p>Defining the Failure:</p> <p>Describe The Failure: During normal running operators, smoke was reported coming from the motor. Shut down the motor and found damage.</p> <p>When: Date 1/31/25 Time 08:00 am</p> <p>Where: Plant Topeka Process / Area Mixing</p> <p>Equipment BB09 Tasks Involved Replacing motor</p>	<p>Cause Analysis: Cause/Effect Analysis on slide 2 link → </p> <p>List contributing causes to failure in this box:</p> <ul style="list-style-type: none"> No oil in the sight glass on 1st initial inspection Bearing seal blown out RTO's were not working due to CMS upgrade
---	---

Impact to the Plant Goals:		
General		
Production/Schedule	12 weeks of production	\$750000
Property/Equip/Mat'ls	Motor repairs	\$449000
Labor/Time	4 me's, contract labor, 4 el's	\$68640
# Tires Lost	Add #	\$
# Hours Down	Add #	1,267,640

Hypothesis – Explain <u>how</u> the failure occurred supported by evidence and cause analysis.	
During normal operations of the mixer motor, the bearing got hot due to lack of lubrication either due to a blown seal, a plugged babbitt bearing oil line or lack of oil in the reservoir.	

Countermeasures:					
#	Description	Competency	Responsible	Due Date	CM Level
1	Ensure that oilers are checking oil levels on critical equipment everyday	Lubrication	Solis	3/4/25	2
2	RTO's on motors need to be wired up and operating properly	PDM	Peters	4/22/25	5
3	Purchase new 2500 hp motor to meet specs required for 370 mixer	Spare Parts Mgmt	Rodecap		5
4					
5					
6					

What is Known about the Failure (Evidence):	
<ul style="list-style-type: none"> Motor was shutdown due to smoke coming from the motor 1st responders found that the bearings had excessive heat coming from the bearings Oil reservoir was empty upon initial inspections Bearing was damaged and shaft dropped down in the bearing casing RTO's on bearings were read in PLC but not shutting machine down when out of spec 	

Figura 20. Falla catastrófica BB09.

Fuente: Goodyear EE.UU.

La ficha muestra una falla por sobrecalentamiento en el motor del Mixer B809, con pérdida de aislamiento en bobinas internas. La causa raíz fue una sobrecarga térmica por ventilación deficiente. La reparación incluyó rebobinado completo y cambio de ventilador axial.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA TÉCNICA

2.1. FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

El Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) es una estrategia de mantenimiento que se fundamenta en el monitoreo continuo o periódico de las condiciones reales de los equipos para determinar la necesidad de intervenciones de mantenimiento.

A diferencia de los enfoques tradicionales, que se basan en intervalos de tiempo fijos (mantenimiento preventivo) o en la corrección de fallas cuando ocurren (mantenimiento correctivo), CBM busca optimizar el tiempo y los recursos de mantenimiento, interviniendo solo cuando los datos indican que existe riesgo de falla o desempeño significativo. degradación. (Smicotech,2024).

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CBM

El mantenimiento basado en condiciones destaca como uno de los enfoques más eficientes y tecnológicos en el campo del mantenimiento industrial. Aquí hay cuatro características principales que lo diferencian de otros métodos:

1. Monitoreo continuo

El mantenimiento basado en condiciones utiliza sensores y sistemas de monitoreo para recopilar datos en tiempo real sobre el rendimiento y el estado de los equipos.

Sensores: en los equipos se instalan diferentes tipos de sensores, como sensores de vibración, temperatura, presión y humedad, para monitorear sus condiciones de funcionamiento.

Recopilación de datos: estos sensores recopilan datos continuamente, proporcionando una vista detallada y actualizada del estado de los componentes.

Detección de anomalías: cualquier variación en los parámetros monitoreados puede indicar problemas inminentes, permitiendo intervenciones antes de que ocurra una falla.

2. Análisis de datos

Aplica técnicas de análisis de datos, incluidos análisis estadísticos, algoritmos de aprendizaje automático y otras metodologías para interpretar los datos recopilados.

Análisis estadístico: utiliza métodos estadísticos para identificar tendencias y patrones en los datos.

Modelado predictivo: los algoritmos de aprendizaje automático se entrenan con datos históricos para predecir cuándo puede fallar el equipo.

Diagnóstico basado en reglas: las reglas predefinidas activan alertas cuando se cumplen ciertas condiciones, como temperaturas o niveles de vibración fuera de los límites normales.

Inteligencia artificial: las redes neuronales y otros métodos de IA analizan datos complejos para proporcionar diagnósticos y predicciones más precisos.

3. Decisión informada

Con base en el análisis se determina el momento ideal para realizar el mantenimiento, evitando tanto fallas inesperadas como mantenimientos innecesarios.

Algoritmos de decisión: los algoritmos analizan los datos recopilados y ayudan a decidir cuándo es necesaria una intervención.

Umbral: define límites para parámetros críticos. Cuando se exceden estos límites, se recomienda realizar mantenimiento.

Planificación del mantenimiento: el mantenimiento se planifica en base a predicciones de fallas futuras, permitiendo intervenir antes de que ocurra una falla y minimizando el impacto en las operaciones.

4. Tecnología

Implica el uso de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), big data, inteligencia artificial y sistemas de monitoreo remoto.

Internet de las Cosas (IoT): los equipos y sensores conectados a internet permiten la recopilación y transmisión de datos en tiempo real.

Big Data: las capacidades avanzadas para almacenar y procesar grandes volúmenes de datos permiten análisis detallados y conocimientos valiosos.

Inteligencia artificial (IA): los algoritmos de IA aprenden de datos históricos para mejorar la precisión de las predicciones y los diagnósticos.

Monitorización remota: permite acceder y analizar los datos desde cualquier lugar, facilitando la gestión y la rápida intervención en caso de anomalías.

2.2 MODOS DE FALLA

La caracterización de los modos de falla permite enfocar el análisis posterior en aquellos eventos con mayor potencial de impacto, facilitando la selección de **parámetros de monitoreo** y el diseño de la estrategia de **mantenimiento basado en condición (CBM)** propuesta en este estudio.

Modo de Falla	S	O	D	NPR
Sobrecalentamiento del motor	9	5	6	270
Fatiga en rodamientos (motor)	8	6	5	240
Falla en sistema de lubricación (motor y caja)	7	6	6	252
Desalineación motor-reductor	7	8	4	224
Falla en aislamiento eléctrico	8	4	7	224
Vibraciones excesivas (motor y caja)	7	6	5	210
Desgaste de engranajes (reductora)	8	6	5	240
Fugas en sellos de aceite	7	7	4	196
Desalineación interna (Caja reductora)	7	6	5	210
Fatiga en rodamientos (reductora)	8	6	5	240
Fisuras en carcasa	9	3	7	189
Contaminación del aceite	6	7	6	252

Tabla 12. Modos de falla equipo crítico. Fuente: Elaboración propia.

La asignación de puntajes se realizó mediante reuniones de consenso con personal técnico de mantenimiento y producción, considerando la experiencia operativa y los datos disponibles. El resultado de esta evaluación se presenta en la siguiente tabla (Tabla 4), donde se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) como el producto de los tres factores ($NPR = S \times O \times D$). Esta tabla permite priorizar los modos de falla más críticos y enfocar la estrategia de mantenimiento basado en condición (CBM) en aquellos eventos que representan mayor riesgo para la confiabilidad del equipo.

A continuación, se presenta un análisis complementario que clasifica estos modos de falla según la frecuencia con que han ocurrido en el último año, permitiendo establecer su impacto estadístico y reforzar la priorización técnica realizada en esta sección.

Componente	Modo de Falla	Frecuencia (Cantidad de Eventos)	% del Total de Fallas	% Acumulado de
Motor	Sobrecalentamiento	12	24%	24%
Engranajes	Desgaste	12	24%	48%
Sellos de Aceite	Fuga	9	18%	66%
Reductor	Desalineación	9	18%	84%
Rodamientos	Fatiga	8	16%	100%

Tabla 13. Resumen de fallas clasificadas por componente.

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto con la información presentada anteriormente, se presenta un diagrama de Pareto que permite visualizar la distribución acumulada de las fallas, evidenciando que los primeros tres modos de falla representan más del 60% del total. Esta concentración valida el principio de Pareto (80/20), y justifica la priorización técnica y operativa de estos eventos en la estrategia de mantenimiento basado en condición (CBM).

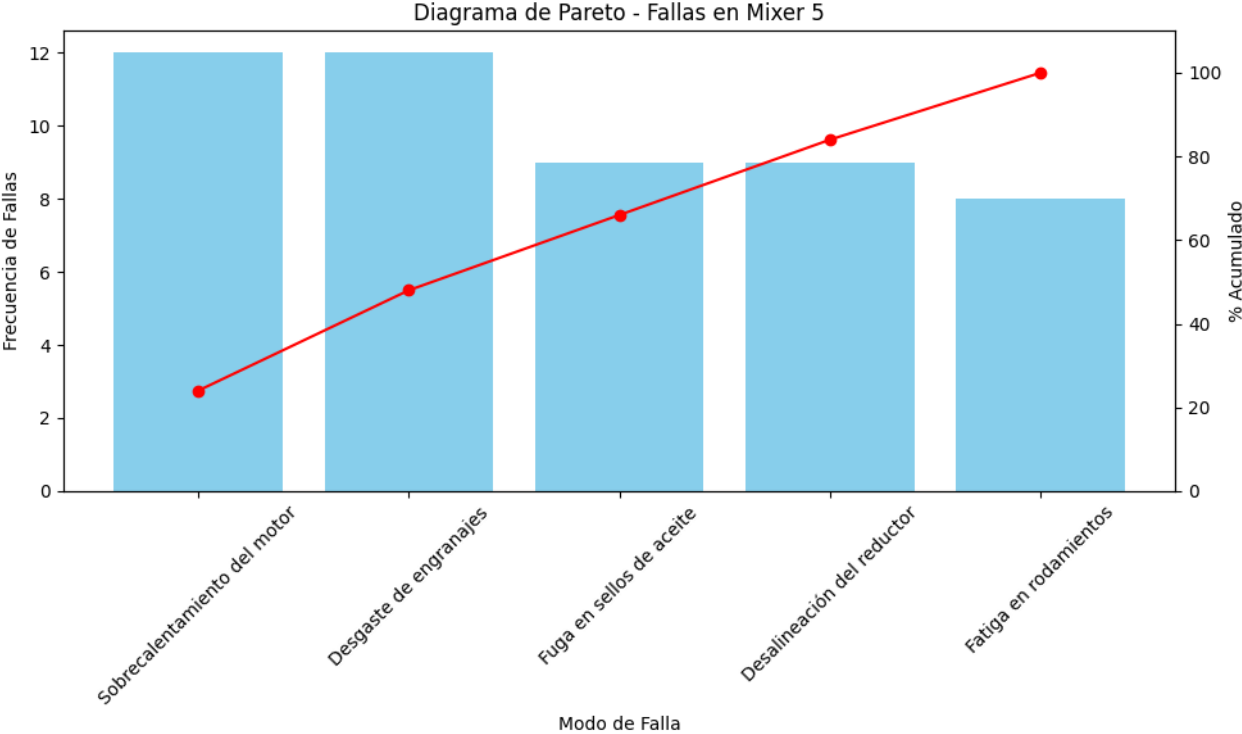


Figura 21. Grafica de Pareto.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa, los tres primeros modos de falla —sobrecalentamiento del motor, desgaste de engranajes y fuga en sellos de aceite— representan más del 60% del total de eventos registrados. Esta concentración valida el principio de Pareto (80/20), según el cual un número reducido de causas genera la mayoría de los efectos. En este caso, un grupo limitado de modos de falla explica la mayor parte de las interrupciones operativas del equipo.

2.3 ANÁLISIS FMECA

Con el objetivo de profundizar en el estudio de los modos de falla identificados y priorizados previamente, se aplica la metodología FMECA (**Failure Modes, Effects and Criticality Analysis**) al equipo crítico Mixer 5. Esta herramienta permite analizar de forma sistemática los efectos, causas, controles actuales y acciones recomendadas para cada modo de falla, considerando su impacto en la operación, su frecuencia de ocurrencia y la capacidad de detección.

El FMECA constituye el vínculo técnico entre el diagnóstico de fallas y la propuesta de mantenimiento basado en condición (CBM), ya que permite definir con mayor precisión los puntos de monitoreo, los parámetros relevantes y las acciones correctivas necesarias para mejorar la confiabilidad del equipo.

A continuación, se presenta la tabla FMECA elaborada para los modos de falla más relevantes del motor principal y la caja reductora:

Activo	Función Principal	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto	Causa	Control actuales	Recomendaciones
Motor reductor Mixer 5	Transmitir 172,922 lb-ft de torque reduciendo la velocidad de 650 RPM a 40 RPM, manteniendo 1500 HP para mezcla eficiente de caucho	El motor reductor no logra transmitir el torque de 172.922 lb-ft ni reducir la velocidad de giro de 650 RPM a 40 RPM, afectando la estabilidad operacional del Mixer y comprometiendo la homogeneización eficiente de	Sobrecalentamiento del motor	Para del equipo por protección térmica, daño en bobinados	Sobre carga, ventilación deficiente	Protección térmica, inspección visual	Instalar termopares en rodamientos del motor para monitoreo continuo
			Fatiga en rodamientos	Ruido, vibración y falla progresiva	Carga cíclica, contaminación	Lubricación periódica, inspección manual	Instalar sensores de vibración en rodamientos
			Falla en sistema de lubricación (motor y caja)	Desgaste acelerado de componentes	Obstrucción, aceite contaminado	Revisión de líneas y filtros	Monitoreo de calidad de lubricante
			Desalineación del eje motor-reductor	Vibraciones, desgaste acelerado	Montaje de machon de acople incorrecto	Alineación manual con reloj comparador	Monitoreo de vibración axial y radial

las materias primas	Falla en aislamiento eléctrico	Pérdida de potencia, riesgo eléctrico	Humedad, envejecimiento del aislamiento	Pruebas de resistencia periódicas	Monitoreo de temperatura y descargas parciales
	Vibraciones excesivas (Motor y caja reductora)	Fatiga estructural, falla de rodamientos	Desbalanceo, resonancia	Balanceo dinámico, inspección visual	Instalación de sensores de vibración
	Desgaste de engranajes	Pérdida de transmisión de torque	Lubricación deficiente, carga excesiva	Inspección visual en paradas programadas	Monitoreo de vibración y análisis de aceite
	Fugas en sellos de aceite	Pérdida de lubricación, contaminación	Sellos envejecidos o mal instalados	Revisión periódica de sellos	Instalación de sensores de nivel de aceite
	Desalineación interna (Caja reductora)	Vibraciones, desgaste de engranajes	Montaje incorrecto, deformación estructural	Alineación manual en mantenimiento mayor	Monitoreo de vibración y análisis de espectro
	Fisuras en carcasa de caja reductora	Fugas, pérdida de rigidez estructural	Fatiga térmica, esfuerzos mecánicos	Inspección visual en paradas	Monitoreo por ultrasonido o análisis estructural
	Contaminación del aceite	Desgaste acelerado de componentes	Ingreso de partículas, humedad	Cambio periódico de aceite, filtrado	Instalación de sensores de calidad de aceite

Tabla 14. FMECA de equipo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

2.4 CBM SEGÚN ISO 17359:2018

La selección de parámetros de monitoreo para el equipo crítico se fundamenta en las directrices establecidas por la norma **ISO 17359:2018**, la cual proporciona un marco metodológico para implementar programas de monitoreo de condición en máquinas rotativas.

Reseña

El monitoreo de condiciones es un proceso continuo y técnicas que pueden no haber estado disponibles, o considera que es demasiado costoso en el momento, o demasiado complicado, o inviable de alguna otra forma (falta de acceso, problemas de seguridad, etc.) podría, al ser revisados, ser factibles. Se recomienda que la condición el procedimiento de seguimiento incluye un proceso de revisión para permitir que se realicen tales reevaluaciones. Del mismo modo, se debe evaluar la eficacia que se están aplicando actualmente en el programa y técnicas que ya no se consideran necesarias eliminarlas.

Los criterios de alerta / alarma también podrían necesitar revisión debido a cambios en la máquina, como el desgaste progresivo, envejecimiento, modificación, operación o cambios en el ciclo de trabajo. Los valores medidos y las líneas de base también podrían cambiar por trabajos de mantenimiento, incluido el cambio de componentes, ajuste o cambio de turno. En algunos casos, puede ser necesario volver a establecer la línea de base luego de tales cambios. Cabe señalar que los cambios en Los valores medidos también pueden deberse a cambios normales o controlados en las condiciones de funcionamiento, y no indica necesariamente una condición de fallo. Los diagnósticos basados en reglas podrían tener que modificarse para tomar estos en cuenta. Para garantizar una gestión de datos eficaz y sostenible, los siguientes elementos requieren especial atención:

- a) Los informes de asesoramiento deberían emitirse dentro de un plazo adecuado.
- b) Todos los datos deben respaldarse de manera segura y regular.
- c) Las bases de datos deben revisarse, actualizarse y perfeccionarse a intervalos regulares especificados.
- d) La configuración de la alarma debe revisarse y ajustarse a intervalos regulares especificados. (Norma ISO 17359:2018).

2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

Una vez comprendidas las directrices establecidas por la norma ISO 17359:2018 para la implementación de programas de mantenimiento basado en condición (CBM), se procede a aplicar dichos lineamientos al caso específico del equipo crítico Mixer 5. Esta norma proporciona un marco técnico que permite seleccionar parámetros relevantes, definir técnicas de medición adecuadas, establecer frecuencias de adquisición, configurar sistemas de alerta y realizar diagnóstico y pronóstico de fallas.

La implementación del sistema de monitoreo para el mantenimiento basado en condición (CBM) del Mixer 5 debe ser meticulosa y estar bien planificada para garantizar que todos los sensores y sistemas estén optimizados para detectar las condiciones críticas antes de que ocurran fallas.

A continuación, se describe el proceso detallado de implementación y los equipos recomendados para el monitoreo:

1. **Identificación de puntos críticos de monitoreo:** Se determinan los puntos críticos del Mixer 5 donde se instalarán los sensores: tapas de rodamientos del motor y caja reductora para vibración y temperatura, y tubería del circuito de lubricación para análisis de aceite.
2. **Instalación y calibración de sensores:** Se instalan acelerómetros piezoeléctricos, sondas termopar y sensor óptico de partículas, asegurando calibración y correcta fijación para obtener datos precisos.
3. **Sistema de adquisición y procesamiento de datos:** Todos los sensores se conectan al sistema National Instruments CompactDAQ, que permite adquisición en tiempo real. El procesamiento se realiza en LabVIEW, incluyendo: Configuración de alarmas automáticas- Visualización de tendencias y análisis espectral (FFT, envolvente, espectro de fase)-Registro histórico y exportación de datos- Pre procesamiento para Machine Learning: filtrado, normalización y etiquetado de datos, además de extracción de características (RMS, picos, espectro).

4. **Desarrollo de modelo de predicción de fallas basado en Machine Learning:** Se entrena un modelo de Machine Learning supervisado utilizando datos de vibración, temperatura y calidad de aceite obtenidos desde los sensores instalados en el equipo, complementados con datos históricos simulados para la fase inicial. El objetivo del modelo no es reemplazar el análisis técnico del analista de mantenimiento, sino apoyar el diagnóstico del sistema CBM, clasificando los patrones captados por los sensores (forma de onda y espectro) y asociándolos a modos de falla previamente identificados mediante la metodología FMECA.
5. **Pruebas piloto y validación:** Se emplean algoritmos supervisados (Random Forest o Redes Neuronales) para identificar condiciones asociadas a fallas como desalineación, desgaste de rodamientos, sobrecalentamiento o contaminación del aceite, permitiendo además estimar la probabilidad de falla y el tiempo restante hasta la falla (RUL). La integración con LabVIEW se realiza mediante librerías externas (Python/MATLAB), permitiendo la ejecución del modelo en tiempo real y la generación de alertas de apoyo a la toma de decisiones de mantenimiento.
6. **Revisión y mejora continua:** Se revisa la precisión del modelo ML y la efectividad del sistema CBM, ajustando hiperparámetros, criterios de alerta y líneas base según el comportamiento real del equipo. Esta etapa asegura la evolución del sistema y su adaptación a condiciones operativas cambiantes.
7. **Cronograma de implementación final:** Documentación, capacitación del personal y puesta en marcha del sistema CBM con Machine Learning.



Figura 22. Flujograma de comunicación del CBM.

Fuente. Elaboración propia.

Cronograma de actividades

Actividad	Descripción	Responsable	Duración estimada	Fecha de inicio	Fecha de término
1	Identificar los puntos físicos donde irán montados los sensores.	Analista predictivo	1 día	03-02-2025	03-02-2025
2	instalación y calibración de sensores.	Analista predictivo	2 semanas	04-02-2025	14-02-2025
3	Adquisición y procesamiento de datos.	Ingeniero en software	2 semanas	17-02-2025	28-02-2025
4	Integración con modelo Machine Learning.	Analista predictivo + Ingeniero en software	3 semanas	03-03-2025	21-03-2025
5	Pruebas piloto y simulaciones de fallas	Analista predictivo	1 semana	24-03-2025	28-03-2025
6	Revisión y mejora continua	Analista predictivo	2 semanas	31-03-2025	04-04-2025
7	Implementación final del modelo CBM.	Analista predictivo + personal interno Goodyear.	1 semana	07-04-2025	11-04-2025

Tabla 15. Cronograma de actividades.

Fuente. Elaboración propia.

Puntos críticos para montaje de sensores

Para llevar a cabo esta etapa, se identificaron los puntos críticos para montar los sensores, como la medición será de vibraciones, temperatura y análisis de aceite, los sensores irán en los siguientes puntos:

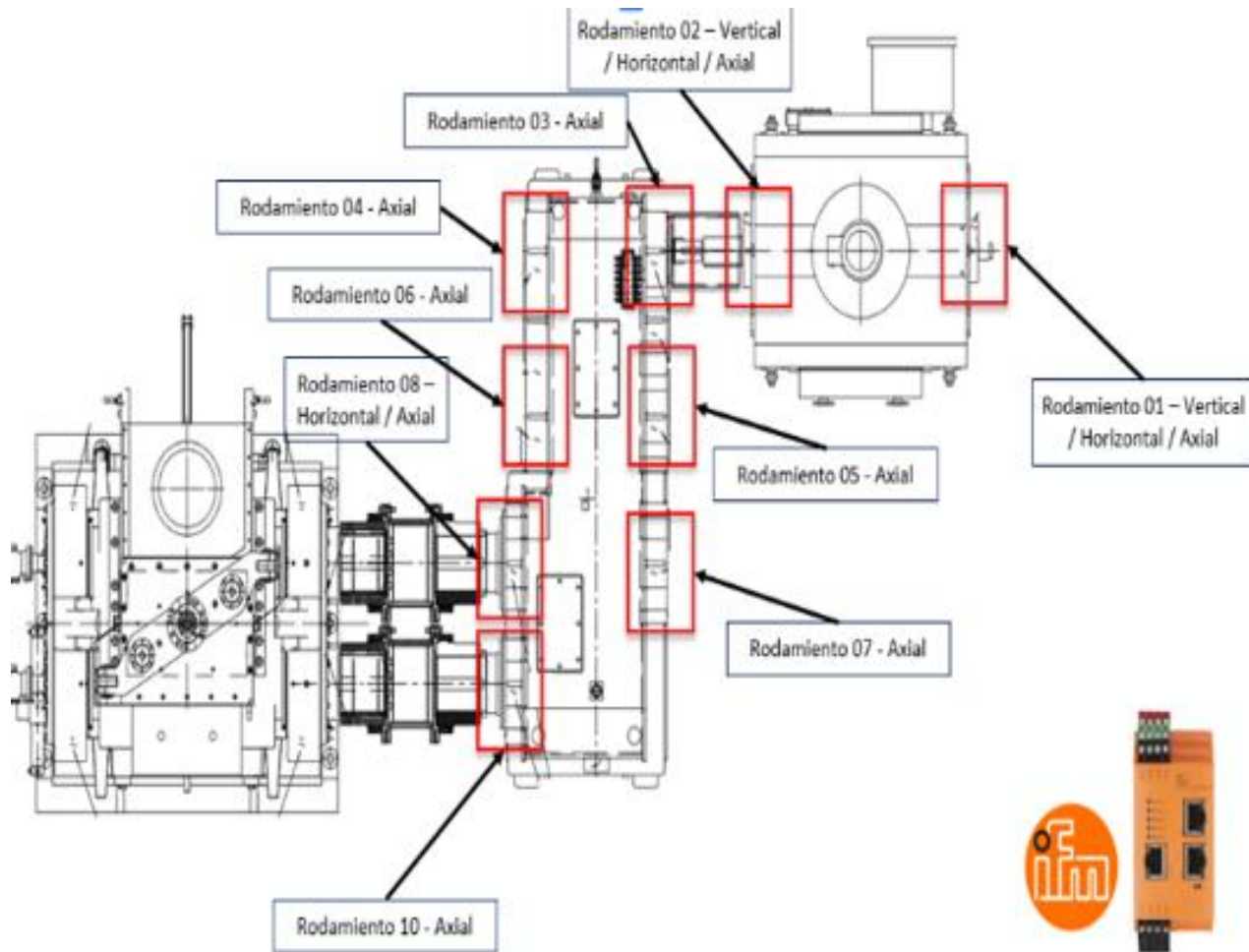


Figura 23. Puntos de montaje de sensores.

Fuente. Goodyear Chile S.A.I.C.

Los sensores de vibración y temperatura irán en las tapas protectoras de rodamiento de motor (rectángulo rojo en la imagen) y caja reductora, como se aprecia en la imagen, para el motor son 2 puntos: Rodamiento 01 y Rodamiento 02, aquí irán los sensores de vibraciones y temperatura, mismo caso para caja reductora, donde los rodamientos serían: Rodamiento 03 a Rodamiento 10. El **analizador de aceite** no debe ir en la carcasa ni en los rodamientos, sino en el **circuito de lubricación de la caja reductora**, donde circula el aceite.

Sensores seleccionados

- **Monitoreo de vibraciones:** se instalarán 10 acelerómetros piezoeléctricos VSP001 de alta sensibilidad (100–500 mV/g, rango 2 Hz a 10 kHz), con carcasa robusta y montaje magnético. Dos sensores se ubicarán en las tapas de los rodamientos del motor (lado libre y lado acople), y ocho sensores en la caja reductora: uno en el descanso de rodamiento de entrada, otro en el descanso de rodamiento de salida, y seis en las tapas protectoras de los rodamientos intermedios entre entrada y salida. Esta configuración permite un análisis detallado de cada rodamiento y la detección indirecta de fallas en engranajes.

- **Monitoreo de temperatura:** se instalarán 10 sondas termopar Tipo K (modelo HI766F), con rango de trabajo de -50 °C a 500 °C y tolerancia de ± 1.5 °C. Dos sondas estarán en las tapas de los rodamientos del motor (lado libre y lado acople), y ocho en la caja reductora: una en la entrada, otra en la salida, y seis distribuidas en los rodamientos intermedios. Esta distribución permite monitorear el comportamiento térmico de los componentes internos, incluyendo engranajes y rodamientos.

- **Análisis de aceites:** instalará un sensor LDP100 (medidor óptico de partículas) en una tubería del circuito de lubricación de la caja reductora. Este sensor permite monitoreo continuo de la concentración de partículas metálicas, análisis de tendencias en tiempo real, y cumple con normativas ISO 4406:24, SAE AS4059F y NAS 1638. Su comunicación se realiza mediante bus CAN, salidas analógicas y digitales, y posee una pantalla LCD para lectura directa.

Sistema de adquisición de datos y procesamiento

Todos los sensores estarán conectados al sistema National Instruments CompactDAQ, que permite la adquisición de datos en tiempo real. El procesamiento se realizará mediante el software LabVIEW, que permite:

- Configuración de alarmas automáticas.
- Visualización de tendencias.
- Análisis espectral (FFT, envolvente, espectro de fase).
- Registro histórico y exportación de datos.

Frecuencia de adquisición

La frecuencia de adquisición será continua para vibración y temperatura, idealmente cada 15 minutos o según recomendación del software o especialista. El sensor de aceite operará en tiempo real. Se establecerán líneas base en condiciones normales de operación, y los criterios de alerta y alarma se definirán como desviaciones porcentuales respecto a la línea base, ajustables según comportamiento histórico.

- Vibración: Monitoreo continuo, idealmente cada 15 minutos o según recomendación del software o especialista.
- Temperatura: Monitoreo continuo en tiempo real.
- Aceite: Monitoreo continuo si el sensor lo permite; en caso contrario, muestreo mensual/trimestral.

Líneas base y criterios de alerta

Se establecerán líneas base en condiciones normales de operación. Los criterios de alerta y alarma se definirán como desviaciones porcentuales respecto a la línea base, ajustables según comportamiento histórico.

La siguiente tabla (Ver tabla 7) resume cómo se aplican las recomendaciones de la norma ISO 17359:2018 en la implementación real del sistema CBM.

Variable monitoreada	Tipo de sensor	Ubicación	Cantidad	Frecuencia de adquisición	Software de procesamiento	Criterios de alerta / alarma
Vibración	Acelerómetro piezoeléctrico VSP001	Motor y caja reductora	10	Continua (cada 15 min)	LabVIEW + Modelo Machine Learning.	Alerta: +10% / Alarma: +25% o espectros anómalos
Temperatura	Termopar Tipo K (HI766F)	Motor y caja reductora	10	Continua	LabVIEW + Modelo Machine Learning.	Alerta: +10 °C / Alarma: +25 °C o fuera del rango seguro
Calidad del aceite	Sensor óptico LDP100	Tubería del circuito de lubricación de la caja reductora	1	Continua	LabVIEW + Modelo Machine Learning.	Alerta: cambio de viscosidad / Alarma: partículas críticas

Tabla 16. Implementación CBM según Norma ISO 17359:2018.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA

3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

El sistema CBM propuesto para el Mixer 5 está diseñado para garantizar compatibilidad entre sensores, hardware y software, siguiendo estándares industriales. Los sensores instalados en el motor y la caja reductora capturan variables críticas como vibración, temperatura y calidad del aceite, generando señales analógicas que son transmitidas mediante cableado industrial al hardware CompactDAQ. Este dispositivo convierte las señales analógicas en datos digitales y los envía al computador mediante conexión física USB o Ethernet, asegurando una comunicación estable y segura en entornos industriales robustos donde el uso de Wi-Fi no es recomendable por riesgos de interferencia y pérdida de datos.

Una vez que los datos llegan al software LabVIEW, se procesan aplicando filtrado, análisis espectral y normalización, además de generar alarmas basadas en umbrales definidos. Estas alarmas cumplen una función operativa inmediata, permitiendo que el personal de planta actúe ante desviaciones críticas sin esperar el análisis predictivo del modelo de Machine Learning. El modelo ML, por su parte, utiliza los datos exportados desde LabVIEW mediante integración con librerías Python o MATLAB para realizar diagnóstico avanzado y pronóstico del tiempo restante para falla (RUL). De esta manera, LabVIEW no compite con el modelo ML, sino que complementa su función: las alarmas en LabVIEW son reactivas y sirven para la operación diaria, mientras que el modelo ML entrega una visión predictiva para la planificación estratégica del mantenimiento.

El flujo completo del sistema se resume así: El flujo de datos del sistema CBM comienza con la captura de señales analógicas desde los sensores instalados en el motor y la caja reductora. Estas señales son transmitidas mediante cableado industrial al sistema CompactDAQ, que las convierte en datos digitales y las envía al software LabVIEW a través de conexión USB/Ethernet. LabVIEW procesa las señales, aplica análisis espectral y genera alarmas, además de exportar los datos en formato estructurado para alimentar el modelo de Machine Learning. Este modelo, entrenado con datos históricos y simulaciones, clasifica el estado del equipo y predice el tiempo restante para falla (RUL), permitiendo una gestión proactiva del mantenimiento.

Justificación técnica de sensores y equipos

Los modos de falla más críticos en conjunto con la gráfica de Pareto arrojaron que el sobrecalentamiento, fatiga en rodamientos, desgaste de engranajes y contaminación del aceite, son las posibles causas de fallas catastróficas, por lo cual la selección de los sensores se justifica bajo estos modos de falla.

10 acelerómetros piezoeléctricos VSP001 (100–500 mV/g, rango 2 Hz–10 kHz) para monitoreo de vibraciones en motor y caja reductora. 10 sondas termopar tipo K HI766F (rango -50 °C a 500 °C, tolerancia ± 1.5 °C) para monitoreo térmico en rodamientos. 1 sensor óptico LDP100 para análisis continuo de calidad de aceite (ISO 4406, SAE AS4059F).

Estas especificaciones están respaldadas por fichas técnicas y cotizaciones reales (ver Anexo 1 y 2).

Sistema de adquisición de datos y software

Se seleccionó National Instruments CompactDAQ por su capacidad multicanal y robustez industrial, integrado con LabVIEW para: Configuración de alarmas automáticas, visualización de tendencias y análisis espectral (FFT, envolvente) registro histórico y exportación de datos.

Modelo de Machine Learning para diagnóstico predictivo

El sistema CBM no se limita a la captura de datos; incorpora un **modelo de Machine Learning supervisado** para entrenamiento inicial basado en datos históricos y simulaciones de fallas (vibración, temperatura, calidad de aceite), clasificación de estados: Normal, alerta, crítico, predicción de tiempo restante para falla (RUL): Utilizando algoritmos como Random Forest y redes neuronales simples.

La propuesta CBM no solo introduce una arquitectura robusta para la captura y análisis de datos, sino que también impacta directamente en los indicadores de confiabilidad del equipo crítico. Para cuantificar este efecto se aplican conceptos de ingeniería de confiabilidad. Para comenzar vamos a explicar como se calcula el MTBF en este caso.

MTBF = Tiempo total de operación / Número de fallas

En ausencia de datos históricos del Mixer 5, se adoptó un supuesto basado en evidencias de fallas catastróficas en equipos similares, donde se registró una falla por año en promedio. Considerando que el equipo opera de forma continua, un año equivale a 8.760 horas, por lo que el MTBF actual se estima en 8.760 h. Con la implementación del CBM, se proyecta duplicar este valor a 17.520 h, gracias a la detección temprana de modos de falla críticos. Por otra parte, la tasa de falla se calcula como:

$$\lambda = 1 / \text{MTBF}$$

Por lo tanto, para el escenario actual sin CBM la tasa de falla sería la siguiente: $\lambda = 1/8.760 = 0,000114$ **fallas/hora**. Mientras que con la implementación de CBM la tasa de falla sería $\lambda = 1/17.520 = 0,000057$ **fallas/hora**.

Considerando estos datos, ahora podemos pasar al cálculo de confiabilidad. La confiabilidad del equipo se expresa mediante la función:

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

Para un horizonte de 8.760 h (un año), la confiabilidad actual es:

$$R(8.760) = e^{(-0,00014 \times 8.760)} = \mathbf{0,37 (37\%)}$$

Con CBM, la confiabilidad mejora a:

$$R(8.760) = e^{(-0,000057 \times 8.760)} = \mathbf{0,61 (61\%)}$$

Este incremento demuestra que la propuesta CBM no solo optimiza la gestión de mantenimiento, sino que cumple con el objetivo central de aumentar la confiabilidad del equipo crítico, reduciendo la probabilidad de fallas y mejorando la disponibilidad operacional.

Se utilizó el modelo exponencial para calcular la confiabilidad, dado que se asume una tasa de fallas constante durante la vida útil del equipo, condición típica en la fase de operación estable. Este modelo es ampliamente aceptado en ingeniería de confiabilidad.

Gráfica de confiabilidad vs tiempo

La siguiente gráfica muestra la evolución de la confiabilidad en función del tiempo, comparando el escenario sin CBM (MTBF de 12 meses) y con CBM (MTBF de 24 meses). Se utiliza la función $R(t) = e^{-\lambda t}$ para representar la confiabilidad.

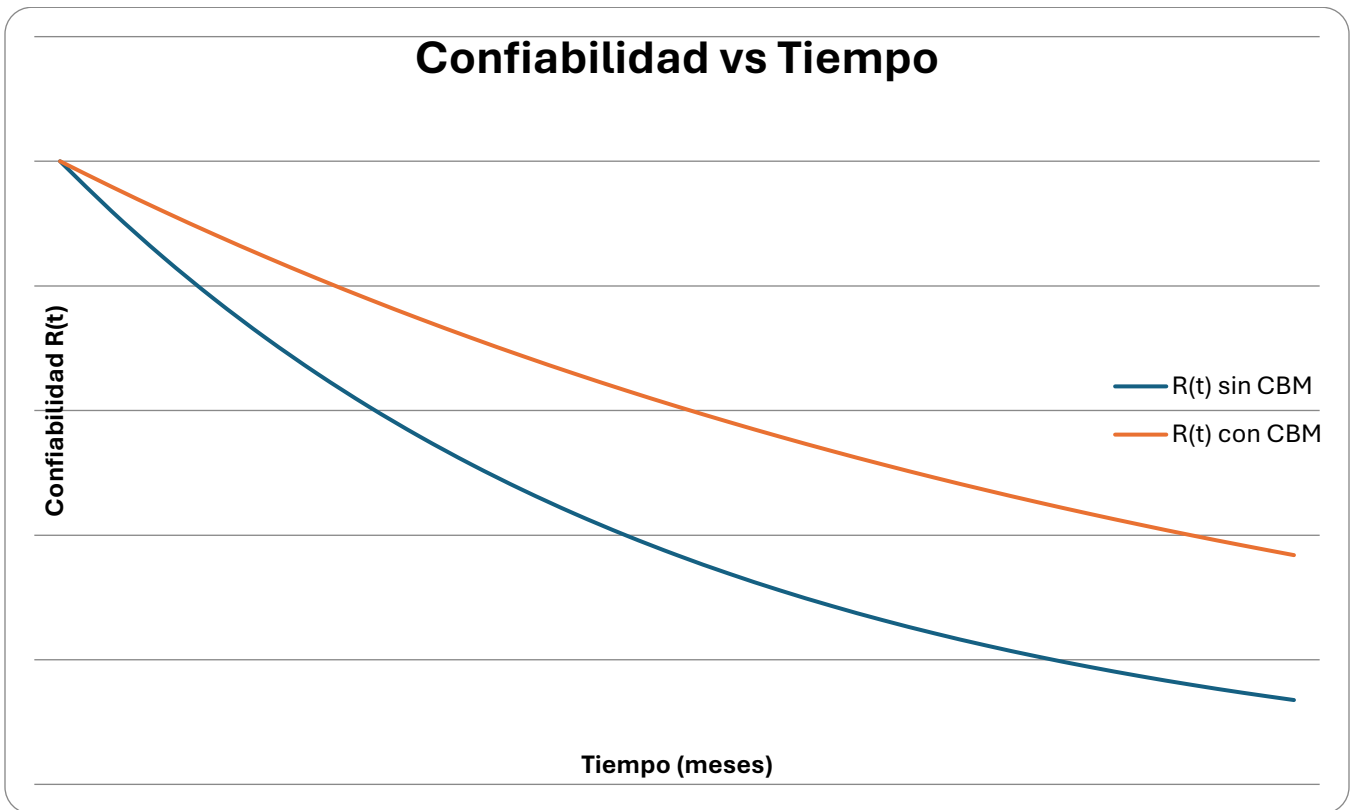


Figura 24. Grafica de Confiabilidad vs tiempo.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica del sistema de mantenimiento basado en condición (CBM) para el equipo crítico Mixer 5 considera tanto la inversión inicial como los beneficios proyectados en un horizonte de dos años. Este período se definió siguiendo recomendaciones académicas y criterios prácticos, ya que permite cuantificar los beneficios del CBM en un marco temporal donde la inversión mantiene vigencia técnica y económica, evitando proyecciones excesivas que podrían verse afectadas por variaciones en costos, tecnología o condiciones operativas. Además, los sensores y sistemas seleccionados poseen una vida útil superior a dos años, lo que asegura la validez del análisis.

El análisis económico incluye costos de implementación, divididos en: costos directos (sensores, sistema de adquisición, software), costos de mano de obra especializada y costos adicionales asociados a instalación y comunicación industrial, alcanzando una inversión total estimada de **\$23.578.332 CLP**, respaldada por cotizaciones reales.

Para determinar la viabilidad financiera, se comparó el escenario actual con costos anuales por mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo que ascienden a **\$108.170.692 CLP**, frente al costo operacional escenario propuesto con CBM, cuyo costo operativo anual se estima en **\$4.000.000 CLP**. La implementación de CBM permite reducir en un **50% las fallas catastróficas** y optimizar en un **30% las tareas preventivas y predictivas**, generando un ahorro anual aproximado de **\$104.170.692 CLP**.

COSTOS DE IMPLEMENTACION

Los costos de implementación se dividen en 3: Costos directos, costos de mano de obra y costos adicionales.

Costos directos

En esta sección se presentan los costos directos asociados a la implementación del mantenimiento basado en condición (CBM) para el equipo crítico Mixer 5. Los valores incluyen sensores, sistema de adquisición de datos y licencia de software. Se destaca el ahorro significativo al utilizar la plataforma Data Bruin para el desarrollo del modelo de Machine Learning, dado que es gratuita para uso académico.

Ítem	Cantidad	Costo unitario (CLP, IVA incluido)	Subtotal (CLP)
Acelerómetros piezoeléctricos VSP001	10	\$349.093	\$3.490.930
Termopares tipo K HI766F	10	\$73.480	\$734.800
Sensor óptico calidad de aceite LDP100	1	\$3.733.498	\$3.733.498
Sistema de adquisición CompactDAQ + módulos	1	\$4.500.000	\$4.500.000
Licencia LabVIEW Full (anual)	1	\$1.580.800	\$1.580.800
Plataforma Data Bruin (Machine Learning)	1	\$0	\$0

Tabla 17. Costos directos.

Fuente. Elaboración propia.

Subtotal: \$14.040.028

Acelerómetros piezoeléctricos VSP001

Se requieren diez acelerómetros para monitorear vibraciones en el motor y caja reductora. El costo unitario es de \$349.093 CLP, lo que representa un subtotal de **\$3.490.930 CLP**. Este valor proviene de cotizaciones reales de proveedores especializados en instrumentación industrial. (Ver anexo 2).

Termopares tipo K HI766F

Se instalarán diez sondas para monitoreo térmico en rodamientos del motor y caja reductora. El costo unitario es de \$73.480 CLP, con un subtotal de **\$734.800 CLP**. Este valor se obtuvo de cotizaciones de distribuidores oficiales de sensores. (Ver anexo 2).

Sensor óptico de calidad de aceite LDP100

Este sensor permite monitoreo continuo del lubricante en la caja reductora. El costo unitario es de **\$3.733.498 CLP**, según cotización de proveedores especializados en monitoreo de lubricantes (Ver anexo 2).

Sistema de adquisición CompactDAQ + módulos

El hardware CompactDAQ es necesario para la adquisición y procesamiento de señales en tiempo real. El costo unitario es de **\$4.500.000 CLP**, respaldado por la tienda oficial de National Instruments (2025).

Licencia LabVIEW Full (anual)

LabVIEW es el software requerido para la configuración del sistema y análisis de datos. El costo de la licencia anual es de **\$1.580.800 CLP**, según información oficial de National Instruments (2025).

Plataforma Data Bruin (Machine Learning)

El modelo de Machine Learning se desarrollará en la plataforma Data Bruin, que es gratuita para uso académico. Esto representa un ahorro significativo en costos de licencias adicionales (Data Bruin, 2025).

Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra se estimaron en base a tarifas promedio del mercado chileno para roles especializados, según datos de ChileTrabajos e Indeed (2025). El sueldo promedio para un Analista Predictivo se sitúa en \$874.120 CLP mensuales, mientras que para un Ingeniero en Software el rango promedio es de \$1.545.032 CLP mensuales. Estos valores se proyectaron considerando dos meses de trabajo para cada rol, según la duración de las actividades definidas en el cronograma.

Responsable	Duración	Costo estimado (CLP)
Analista Predictivo	2 meses	\$1.748.240 CLP
Ingeniero Software	2 meses	\$3.090.064 CLP

Tabla 18. Costos mano de obra.

Fuente. Elaboración propia.

Subtotal: \$4.838.304

La estimación de costos de mano de obra considera dos perfiles claves para la implementación del sistema CBM: el Analista Predictivo y el Ingeniero en Software. El Analista Predictivo se encargará de la configuración técnica del sistema, incluyendo la identificación de puntos críticos para la instalación de sensores, el montaje y calibración de estos y la validación de datos iniciales y el establecimiento de líneas base de medición. Además, será responsable de ejecutar pruebas piloto y simulaciones de fallas para verificar la efectividad del sistema y capacitar al personal operativo interno de la planta Goodyear respecto a la implementación del CBM en su organización. Por otra parte, el Ingeniero en Software tendrá a su cargo la integración tecnológica y el desarrollo del modelo, lo que implica configurar el sistema CompactDAQ, programar en LabVIEW para la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real e implementar algoritmos de Machine Learning para diagnóstico y pronóstico de fallas. También será responsable de ajustar y optimizar el modelo predictivo durante la fase de validación. Estas funciones justifican la duración y el costo asignado a cada rol, asegurando que la propuesta CBM se implemente de manera efectiva y cumpla con los objetivos técnicos y económicos del proyecto.

Costos adicionales

Los costos adicionales corresponden a elementos necesarios para la correcta implementación del sistema CBM.

Concepto	Descripción	Costo estimado (CLP)
Instalación eléctrica y montaje físico de sensores y módulos.	Cableado, soportes, mano de obra especializada	\$2.000.000
Red de comunicación industrial	Integración básica de sensores y CompactDAQ	\$1.500.000
Servidor local para respaldo de datos	Servidor dedicado básico	\$1.200.000

Tabla 19. Costos adicionales.

Fuente. Elaboración propia

Subtotal: \$4.838.304

Instalación eléctrica y montaje físico

Este concepto incluye el cableado industrial, soportes, canalización y mano de obra especializada para la instalación segura de los sensores y el sistema CompactDAQ en el entorno del Mixer 5. Según estimaciones de proyectos industriales en Chile, el costo promedio para instalación eléctrica y montaje físico oscila entre \$1.500.000 y \$2.500.000 CLP, dependiendo de la complejidad y materiales utilizados (Habitissimo, 2025). Para este proyecto se consideró un valor de **\$2.000.000 CLP**, acorde a la magnitud del equipo y la necesidad de cumplir con normativas de seguridad industrial.

Red de comunicación industrial

La integración de sensores y el sistema CompactDAQ requiere una red de comunicación robusta para transmitir datos en tiempo real. Esto implica la instalación de buses industriales (CAN, Modbus, Ethernet/IP) y protocolos de comunicación. El costo promedio para cableado estructurado y configuración básica en entornos industriales se encuentra entre \$1.200.000 y \$2.000.000 CLP (SACE Ingeniería, 2025). Se adoptó un valor de **\$1.500.000 CLP** como referencia para una red básica que permita la conectividad del sistema CBM.

Servidor local para respaldo de datos

El almacenamiento seguro de datos históricos es esencial para el análisis predictivo y la trazabilidad del sistema. Se requiere un servidor dedicado básico con capacidad suficiente para almacenar datos de vibración, temperatura y calidad de aceite. El costo promedio de servidores en Chile varía entre \$1.199.990 y \$3.159.990 CLP, dependiendo de la capacidad y redundancia (Todoclick, 2025). Para este proyecto se consideró un valor de **\$1.200.000 CLP**, suficiente para las necesidades del caso de estudio.

Si bien parte de estas tareas podrían ser asumidas por el analista predictivo y el ingeniero en software, se consideraron costos adicionales para reflejar un escenario realista donde se requiere mano de obra especializada y materiales específicos. La instalación eléctrica y el montaje físico implican trabajos certificados para cumplir normativas de seguridad industrial, asegurar la correcta fijación de sensores y la canalización del cableado. La red de comunicación industrial requiere la implementación de buses y protocolos que garanticen la transmisión de datos en tiempo real, lo que normalmente demanda recursos adicionales en infraestructura. Finalmente, el servidor local corresponde a un equipo físico indispensable para el almacenamiento seguro de datos históricos, asegurando trazabilidad y soporte para análisis predictivo. Estos costos no representan contratación permanente de personal, sino servicios puntuales y adquisición de infraestructura necesaria para la puesta en marcha del CBM. Por lo tanto, el costo total de la inversión para el CBM sería el siguiente:

Inversión total estimada

Categoría	Costo (CLP)
Costos directos	\$14.040.028
Costos mano de obra	\$4.838.304
Costos adicionales	\$4.700.000
Total estimado	\$23.578.332

Tabla 20. Inversión total.

Fuente. Elaboración propia.

AHORRO PROYECTADO Y RETORNO DE INVERSIÓN

Este apartado presenta el análisis económico y técnico del impacto de la implementación del mantenimiento basado en condición (CBM) en el equipo crítico Mixer 5. El objetivo es cuantificar el ahorro proyectado, el retorno de inversión (ROI), el período de recuperación (Payback) y la mejora en la confiabilidad del equipo.

Escenario propuesto: CBM implementado

La propuesta considera la implementación de un sistema de mantenimiento basado en condición (CBM) que incluye sensores de vibración y temperatura, un analizador de aceite, un sistema de adquisición de datos CompactDAQ, software LabVIEW y una plataforma de análisis predictivo con algoritmos de Machine Learning. Este sistema permitirá la captura y procesamiento continuo de datos críticos del motor y la caja reductora del Mixer 5, reduciendo la ocurrencia de fallas catastróficas y optimizando las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo. **Inversión inicial: \$23.578.332 CLP.**

Costos operativos anuales del CBM: \$4.150.000 CLP, los cuales corresponden a los siguientes puntos:

- **Calibración de sensores:** \$510.000 CLP.

La calibración anual de los sensores es un requisito fundamental para garantizar la precisión de las mediciones y la confiabilidad del sistema CBM. Según laboratorios acreditados bajo la norma NCh-ISO 17025 en Chile, el costo promedio de calibración para sensores de vibración oscila entre **CLP 20.000 y CLP 30.000 por unidad**, mientras que para sensores de temperatura el rango se sitúa entre **CLP 10.000 y CLP 15.000 por unidad** (Varitec, 2023; Metrocal, 2023; VETO, 2023). Considerando la calibración de 10 sensores de vibración y 10 sensores de temperatura, el costo total estimado asciende a aproximadamente **CLP 360.000**, lo que se encuentra dentro del rango habitual para contratos industriales de mantenimiento predictivo.

Adicionalmente, el sistema incluye un analizador de calidad de aceite, el cual también requiere calibración anual para asegurar la confiabilidad de las mediciones de partículas y viscosidad. Según proveedores especializados y laboratorios acreditados bajo la norma NCh-ISO 17025, el costo promedio de calibración para este tipo de instrumento se sitúa en torno a **CLP 150.000 por unidad** (Vantec, 2023). Por lo tanto, el costo total estimado para la calibración anual de todos los sensores, incluyendo el analizador de aceite, asciende a aproximadamente **CLP 510.000**.

➤ **Mantenimiento del sistema CompactDAQ y LabVIEW: \$1.500.000 CLP**

El mantenimiento del sistema de adquisición de datos CompactDAQ y la plataforma LabVIEW es esencial para garantizar la continuidad operativa y la compatibilidad con nuevas versiones de software y hardware. Este servicio incluye actualizaciones periódicas, soporte técnico especializado y revisión preventiva del hardware, lo que permite evitar obsolescencia y fallas críticas en el sistema de monitoreo. Según National Instruments (NI), el mantenimiento y soporte de sus productos requiere un contrato de servicio válido que cubre reparaciones, calibración, actualizaciones y asistencia técnica (NI, 2025). Además, el costo de las licencias y actualizaciones de LabVIEW varía según la edición, con valores anuales que oscilan entre **USD 493 y USD 2.771** (aprox. CLP 500.000 a CLP 2.500.000), lo que respalda la estimación de **CLP 1.500.000/año** para cubrir soporte y actualizaciones del sistema (G2, 2024; NI, 2025).

➤ **Mano de obra para análisis y soporte técnico: \$2.000.000 CLP**

El análisis de datos y soporte técnico especializado son esenciales para interpretar las mediciones del sistema CBM y tomar decisiones correctivas oportunas. Según estudios de mercado laboral en Chile, el sueldo promedio de un **analista predictivo** oscila entre **CLP 830.000 y CLP 1.500.000 mensuales**, dependiendo de la industria y experiencia (Infotrabajos, 2023; Computrabajo, 2025). Considerando que el servicio CBM requiere aproximadamente **8 horas mensuales** de análisis y soporte (a razón de CLP 25.000/hora, valor típico en consultoría técnica), el costo anual estimado es:

$8 \text{ h/mes} \times 25.000 \text{ CLP/h} \times 12 \text{ meses} = 2.400.000 \text{ CLP}$, Este valor se ajusta a **CLP 2.000.000/año** para reflejar la automatización parcial del análisis mediante software.

➤ **Otros gastos menores (insumos, conectividad): \$140.000 CLP**

Los gastos menores asociados al sistema CBM incluyen insumos como cables, conectores y soportes, además de costos de conectividad industrial para la transmisión de datos. En Chile, los planes empresariales de internet dedicado con IP fijas tienen precios que parten desde **CLP 58.990 mensuales**, lo que representa un costo anual superior a CLP 700.000 si se contratara un servicio exclusivo (GTD, 2025; Entel Empresas, 2025). Sin embargo, dado que la planta ya cuenta con infraestructura de red, se considera únicamente el gasto adicional por insumos y ajustes específicos para el sistema CBM, estimado

en **CLP 140.000/año**, lo que se encuentra dentro del rango habitual para proyectos de mantenimiento predictivo industrial (Torvex, 2025).

Reducción de fallas catastróficas y ahorra proyectado

El análisis realizado en el **Capítulo 2 (Evaluación de criticidad y modos de falla)**, mediante la metodología **FMECA** y el diagrama de Pareto, evidenció que **el 80% de las pérdidas económicas provienen de modos de falla críticos** asociados al motor principal y la caja reductora del Mixer 5. Estos modos incluyen sobrecalentamiento, desgaste acelerado de engranajes y contaminación del aceite, los cuales son monitoreados directamente por el sistema CBM propuesto.

La implementación del CBM permite actuar de manera proactiva sobre estas condiciones, reduciendo la probabilidad de ocurrencia de fallas funcionales y, por ende, de fallas catastróficas. Con base en estudios de confiabilidad y experiencias en la industria, se estima una **reducción del 50% en la frecuencia de fallas catastróficas**.

El costo de una falla catastrófica se calculó en **\$60.480.000 CLP**, según el análisis documentado en el Capítulo 2, considerando pérdida de producción, una parada de 72 horas × costo promedio por hora (\$840.000 CLP/h) → 72 hrs x 840.000CLP/hr= \$60.480.000CLP.

Este valor representa el impacto económico de una falla mayor en el Mixer 5, basado en datos reales de plantas comparables y ajustado mediante análisis FMECA.

Si actualmente ocurre **1 falla catastrófica por año** (\$60.480.000 CLP), con la implementación del CBM se proyecta reducir esta frecuencia en un **50%**, es decir, a **0,5 fallas/año**.

Por lo tanto, el ahorro estimado es:

Ahorro anual = Costo falla anual x reducción esperada = \$60.480.000 CLP x 0,5 = **\$30.250.000 CLP**.

Este ahorro se suma a otros beneficios derivados de la optimización del mantenimiento preventivo y predictivo, lo que incrementa el impacto económico total de la propuesta CBM.

Optimización de mantenimiento preventivo/predictivo: reducción del 30%

Preventivo actual: \$36.576.452 → ahorro ≈ \$10.972.935 CLP

Predictivo actual: \$12.449.440 → ahorro ≈ \$3.734.832 CLP

Total ahorro por optimización: ≈ \$14.707.767 CLP

El porcentaje del **30%** se justifica porque la optimización del mantenimiento preventivo y predictivo reduce tareas innecesarias y mejora la eficiencia mediante monitoreo basado en condición. Esto permite disminuir la frecuencia de intervenciones, reducir horas-hombre y optimizar el uso de repuestos y lubricantes, lo que se traduce en menores costos directos e indirectos. Diversos estudios y guías técnicas reportan que la implementación de estrategias CBM (Condition-Based Maintenance) logra ahorros entre un **20% y 40%** respecto a planes tradicionales, por lo que asumir un 30% es un valor conservador y respaldado por literatura técnica y casos reales en plantas industriales (Defense Acquisition University, 2024)., en la sección *Benefits of CBM+* del documento, se indica que CBM permite disminuir costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad, logrando ahorros típicos entre un 20% y 40% en comparación con enfoques tradicionales. Esto se debe a la reducción de mantenimientos innecesarios, menor tiempo fuera de servicio y optimización de recursos.

EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Para determinar la viabilidad económica de la propuesta, se aplican indicadores financieros ampliamente utilizados en la industria. Estos indicadores permiten cuantificar el beneficio económico frente a la inversión inicial y estimar el tiempo de recuperación, considerando el horizonte de evaluación definido en dos años. Los principales indicadores son:

Retorno de Inversión (ROI): mide el porcentaje de ganancia respecto a la inversión inicial.

Periodo de Recuperación (Payback): indica el tiempo necesario para recuperar la inversión mediante los ahorros generados.

CÁLCULO DEL RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN (ROI)

El Retorno sobre la Inversión (ROI) es un indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto. Indica qué porcentaje de ganancia se obtiene respecto al monto invertido. Es muy usado porque permite evaluar si la inversión genera beneficios suficientes para justificar su implementación.

Si el ROI es **positivo y alto**, el proyecto es rentable.

Si el ROI es **bajo o negativo**, la inversión no se justifica.

Fórmula ROI: **Beneficio neto / Inversión inicial x 100**

El beneficio neto representa el ahorro o ganancia que el proyecto genera durante el horizonte de evaluación, menos cualquier costo adicional que se produzca en ese período. En este caso, como el proyecto CBM busca reducir costos de mantenimiento y pérdidas por fallas, el beneficio neto se calcula a partir de:

En el cálculo que vimos antes, el ahorro anual estimado por optimización era \$14.707.767 CLP. Si consideramos un horizonte de 2 años, el beneficio neto sería:

Beneficio neto: \$14.707.767 x 2 = \$29.415.534 CLP, por lo tanto, si aplicamos la formula:

ROI = \$29.415.534 / \$23.578.832 X 100 = 124,8%.

El proyecto CBM no solo recupera la inversión inicial, sino que genera un retorno adicional del 124,8% en el horizonte de dos años, lo que demuestra su alta rentabilidad.

CALCULO DEL PAYBACK

El Payback es el tiempo que tarda el proyecto en recuperar la inversión inicial mediante los ahorros generados. Es un indicador simple que muestra cuán rápido se recupera el dinero invertido.

Payback= inversión inicial / Ahorro anual

Donde:

Inversión inicial: \$23.578.832 CLP

Ahorro anual: \$14.707.767 CLP (por optimización del mantenimiento). Por lo tanto:

Payback = $\$23.578.832 / \$14.707.767 = 1,6$ años, esto llevado a meses = $1,6 \times 12 = 19,2$ meses. Esto quiere decir que el proyecto CBM recupera la inversión inicial en aproximadamente 19 meses, lo que significa que antes de finalizar el segundo año ya se ha cubierto el costo total y comienza a generar beneficios netos.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del mantenimiento basado en condición (CBM) en el equipo crítico Mixer 5 es económicamente viable y altamente rentable. El cálculo del Retorno sobre la Inversión (ROI) arroja un valor de 124,8%, lo que indica que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera más del doble en beneficios netos durante el horizonte de evaluación. Por su parte, el periodo de recuperación (Payback) se estima en 1,6 años, equivalente a aproximadamente 19 meses, lo que significa que antes de finalizar el segundo año la inversión estará completamente cubierta y el proyecto comenzará a generar ganancias. Estos indicadores confirman que la propuesta CBM contribuye significativamente a la reducción de costos por mantenimiento y pérdidas por fallas, justificando su implementación como una estrategia efectiva para aumentar la confiabilidad y optimizar la gestión de activos en la planta.

CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo diseñar un sistema de mantenimiento basado en condición (CBM) para el equipo crítico Mixer 5 de la planta Goodyear Chile, con el propósito de mejorar su confiabilidad operacional. Para ello, se desarrollaron tres etapas: diagnóstico del estado actual, análisis de modos de falla y diseño del plan de implementación.

El diagnóstico evidenció que el Mixer 5 concentraba el mayor riesgo operativo, con una confiabilidad estimada en **37%** y un **MTBF de 8.760 h**, además de costos anuales de mantenimiento cercanos a **\$108.170.692 CLP** y pérdidas por fallas catastróficas de hasta **\$60.480.000 CLP por evento**. Estos datos justificaron la necesidad de una estrategia más eficiente.

La propuesta técnica incluyó sensores de vibración, temperatura y calidad de aceite, integrados a un sistema de adquisición CompactDAQ y procesados mediante LabVIEW, alineando el monitoreo con la norma ISO 17359. Desde el punto de vista económico, la inversión estimada fue de **\$23.578.332 CLP**, con un ahorro anual proyectado de **\$14.707.767 CLP**, un **ROI de 124,8%** en dos años y un **payback de 1,6 años**. En términos de confiabilidad, el MTBF se duplicó a **17.520 h**, elevando la confiabilidad del equipo a **61%**.

Estos resultados demuestran que la implementación del CBM es técnica y económicamente viable, contribuye a reducir la ocurrencia de fallas catastróficas y optimiza la gestión de mantenimiento. Además, la metodología aplicada es replicable en otros activos industriales, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y fortaleciendo la estrategia de mantenimiento predictivo en la planta.

REFERENCIAS

- Grupo prensa digital (2023) [Goodyear: 125 años en movimiento - Portal Innova](#)
- Rojas, J. (2018). *Propuesta de mejora para reducir el Scrap generado en planta productiva Goodyear Chile utilizando metodología de gestión de calidad* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170022>
- Cotes et Al., (2014, diciembre). *Artículo IEEE: Trabajo grupal momentos 1 y 2. Teoría general de sistemas 301307*. Recuperado de <https://teoriageneraldesistemas301307-40.blogspot.com/2014/12/articulo-ieee-trabajo-grupal-momentos-1.html>
- Carlos parra y Adolfo crespo (Diciembre,2019) *Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos* ([PDF](#)) [Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos](#)
- Sueldo promedio analista predictivo, extraído de [El sueldo o salario promedio de analista \\$874.120 en Octubre 2025](#)
- Costo de calibración de analizador de vibraciones, extraído de [Servicio de Calibración Analizador de Vibraciones marca CST-SERV-CAL](#)
- Costo calibración de cámara termográfica, extraído de [Calibración cámara termográfica y termómetro infrarrojo](#)
- Frecuencia de calibración, extraído de [¿Cada cuánto se deben calibrar los instrumentos de medición?](#)
- Que es el mantenimiento predictivo, extraído de [¿Qué es el mantenimiento predictivo? | IBM](#)
- Costo mano de obra de mecánico en Chile [Salarios de Técnico mecánico industrial en 2025 | Trabajo Chile](#)
- Costo mano de obra eléctrico en Chile [Salarios de Técnico eléctrico en 2025 | Trabajo Chile](#)
- Cambio de aceite lubricante para cajas reductoras FALK, extraído de [Aceite para reductores FALK | Lubricantes Industriales](#)
- Sueldo promedio de lubricador, según [Salarios de Lubricador/a en 2025 | Trabajo Chile](#)
- Precio tambor de aceite EP 320 , extraído de [SPARTAN EP 320 TAMBOR 208LT](#)
- Manual del fabricante incrementador LUFKIN, extraído de [\(99+\) Manual del incrementador LUFKIN](#)
- Manual del fabricante compatible con motor Reliance PLUS, extraído de [Datos de aplicación de motores; Velocidad máxima segura; Diámetro mínimo de la polea de la correa trapezoidal; Extensión del eje y método de accionamiento - Manual de instalación, operación y mantenimiento de RPM AC de Reliance electric \[Página 8\] | ManualsLib](#)

- Costo lubricante para motor principal, según [Mobil Polyrex™ EM | Grasa Premium para Cojinetes de Motores Eléctricos – minorista.terrahogar](#)
- Fundamentos del CBM, extraído de [Mantenimiento basado en condiciones \(CBM\): qué es y cómo funciona - Smycotech](#)
- Sueldo promedio analista predictivo, según [El sueldo o salario promedio de analista \\$874.120 en Noviembre 2025](#)
- Sueldo promedio ingeniero en software, según [Sueldo de Ingeniero/a de software en Chile](#)
- Hardware COMPACTDAQ, extraído de [Sistemas CompactDAQ \(cDAQ\) - NI](#)
- Software LABVIEW, extraído de [Precios de LabVIEW 2025](#)
- Habitissimo. (2025). *Presupuesto instalación eléctrica industrial*. Recuperado de [Instalación Eléctrica Industrial: Precio y Presupuestos ONLINE \[2025\] - Habitissimo](#)
- SACE Ingeniería. (2025). *Redes de comunicación industrial*. Recuperado de [Redes de Comunicación Industrial – SACE Ingeniería](#)
- Todoclick. (2025). *Servidores dedicados*. Recuperado de [Comprar Servidor en Chile](#)
- Varitec. (2023). *Servicios de calibración acreditados ISO 17025*. Recuperado de: [Calibración de Instrumentación | Precisión y Mantenición de Equipos Industriales - Varitec](#)
- Metrocal. (2023). *Calibración de instrumentos industriales*. Recuperado de: [Laboratorio de Calibración - Metrología y Calidad SpA](#)
- VETO. (2023). *Calibración de termopares y sensores de temperatura*. Recuperado de: [Calibración de instrumentos - VETO Calibraciones](#)
- National Instruments. (2025). *Configurar, adquirir datos y mantener su sistema CompactDAQ*. Recuperado de: <https://www.ni.com/es/shop/services/education-services/customer-education-courses/setting-up-acquiring-data-and-maintaining-your-compactdaq-system-course-overview.html> [ni.com]
- National Instruments. (2025). *Sistemas CompactDAQ (cDAQ)*. Recuperado de: <https://www.ni.com/es/shop/compactdaq.html> [ni.com]
- G2. (2024). *Precios de LabVIEW*. Recuperado de: <https://www.g2.com/es/products/labview/pricing> [g2.com]
- National Instruments. (2025). *Select Your NI LabVIEW Edition*. Recuperado de: <https://www.ni.com/en/shop/labview/select-edition.html> [ni.com]

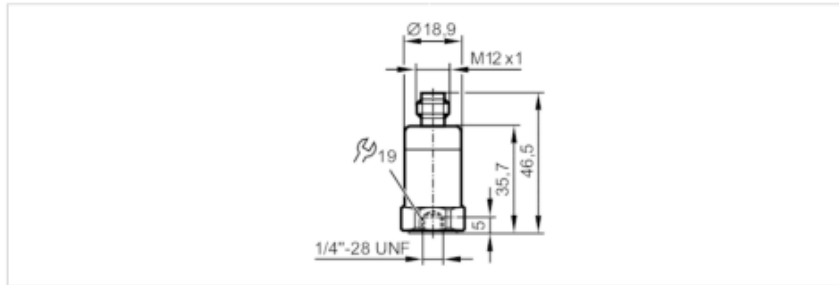
- Infotrabajos. (2023). *Sueldo de predictivo en Chile*. Recuperado de: <https://infotrabajos.cl/analisis/sueldo/predictivo>
- Computrabajo. (2025). *Salarios de analista en Chile*. Recuperado de: <https://cl.computrabajo.com/salarios/analista>
- 2x3. (2025). *Precios consultoría empresarial en Chile*. Recuperado de: <https://www.2x3.cl/p/precios-consultoria-empresarial>
- GTD. (2025). *Planes de Internet IP Fija para empresas*. Recuperado de: <https://www.gtd.cl/negocios/productos-negocios/planes-de-internet/ip-fija>
- Entel Empresas. (2025). *Internet dedicado para empresas*. Recuperado de: <https://empresas.entel.cl/internet/internet-dedicado>
- Torvex. (2025). *Mantenimiento predictivo industrial*. Recuperado de: <https://torvexchile.com/>
- VANTEC. (2023). *Servicios de calibración acreditados bajo NCh-ISO 17025*. Recuperado de [Innovación y Excelencia en Servicios de Ingeniería | Vantec](#)
- Defense Acquisition University. (2024). *Condition-Based Maintenance Plus Guidebook*. Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Materiel Readiness. Recuperado de <https://www.dau.edu/sites/default/files/2024-08/CBM%2B%20Guidebook%20August%202024%20-%20Stamped.pdf>

Anexo 1. Fichas técnicas de la propuesta

VSP001

Acelerómetro

VIBRATION SENSOR



Características del producto	
Rango de medición de vibraciones [g]	-80...80; (-50...50 g cuando se conecta a un VSE)
Rango de frecuencia [Hz]	2...10000
Principio de medición	piezoeléctrico
Interfaz de comunicación	IEPE
Campo de aplicación	
Versión	para la conexión a electrónicas de diagnóstico externas VSE
Datos eléctricos	
Tensión de polarización DC [V]	10...12
Consumo de corriente [mA]	0,5...8
Resistencia de aislamiento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Resistente a inversiones de polaridad	sí
Rango de configuración / medición	
Rango de medición de vibraciones [g]	-80...80; (-50...50 g cuando se conecta a un VSE)
Rango de frecuencia [Hz]	2...10000
Principio de medición	piezoeléctrico
Densidad de ruido [mg]	0,1
Sensibilidad cruzada máx. [%]	5
Tiempo de medición mínimo [s]	2
Número de ejes de medición	1
Precisión / variaciones	
Precisión	± 5 %
Sensibilidad de medición	100 mV/g
Interfaces	
Interfaz de comunicación	IEPE
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente [°C]	-55...125


In electronic gmbh • Foedrichstraße 1 • 45228 Essen — Nos reservamos el derecho de modificar características técnicas sin previo aviso. — ES-ES — VSP001-00 — 13.04.2023 — 2

VSP001



Acelerómetro

VEIBRATION SENSOR

Temperatura de almacenamiento	(°C)	-55...125
Grado de protección		IP 67
Homologaciones / pruebas		
CEM	EN 61326-1	: 2013
Resistencia a choques		5000 g
MTTF	(años)	1142
Datos mecánicos		
Peso	(g)	73,5
Tipo de montaje		torillo prisionero
Materiales		Carcasa: Acero inoxidable
Par de apriete	(Nm)	8
Accesorios		
Componentes incluidos		torillos prisioneros
Notas		
Cantidad por pack		1 unid.
Conexión eléctrica		
Conector: 1 x M12; codificación: A; Longitud máx. del cable: 1000 m		
		
1		no utilizado
2		IEPE +
3		no utilizado
4		IEPE -



Sonda Termopar Tipo K Flexible para Altas Temperaturas – HI766F

Description

La Sonda Termopar Tipo K Flexible Para Altas Temperaturas – HI766F está diseñada para medir la temperatura de superficies sólidas de alta temperatura que pueden ser difíciles de medir con las sondas de temperatura tradicionales. El tiempo de respuesta de una medición se ve afectado por la posición del sensor en relación a la superficie que se mide. La forma flexible del HI766F ofrece una respuesta rápida de 4 segundos para una lectura de temperatura. Con una construcción de acero inoxidable AISI 316 y resistente a la corrosión, esta sonda puede medir superficies extremadamente calientes de hasta 1100°C (2000°F).

Intero per ferro e non sollecito

Especificaciones

Temperatura máxima	1100°C (2000°F)
Tiempo de respuesta	4 segundos (90% del valor final)
Longitud de la sonda	255 mm (10")
Material del cuerpo	Acero inoxidable AISI 316
Diámetro	1.5 mm (0.06")
Cable	1 m (3.3')
Aplicaciones	Altas temperaturas

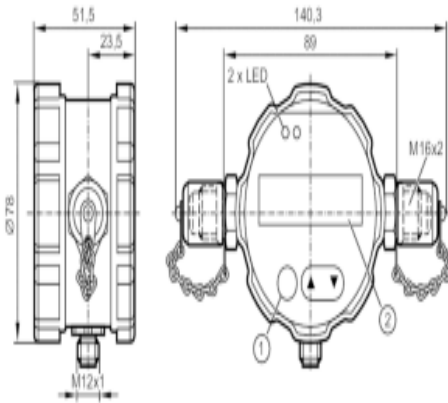
LDP100

Medidor óptico de partículas en aceite

OIL PARTICLE MONITOR



En los conectores hembra de 8 pines, los colores de los hilos no están normalizados.
Observar siempre el conexionado del sensor y de los conectores hembra (véase ficha técnica).
Tenga en cuenta las indicaciones técnicas del apartado "Descargas".



- 1 botones de programación
2 Display



Características del producto

Número de entradas y salidas	Número de salidas digitales: 1; Número de salidas analógicas: 1
Conexión de proceso	conexión de rosca M16 x 2 rosca exterior Minimes
Campo de aplicación	
Fluidos	aceites minerales (p. ej. M.L.P); ésteres (p. ej. H.EES); bioaceites (p. ej. HETG)
Acero	
Temperatura del fluido [°C]	-10...80
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	9...33 DC
Consumo de corriente [mA]	< 300
Clase de protección	III
Principio de medición	fotoeléctrico
Entradas/salidas	
Número de entradas y salidas	Número de salidas digitales: 1; Número de salidas analógicas: 1
Salidas	
Número total de salidas	2
Número de salidas digitales	1

Declaración CE - F0012345678 - 01/2018 - No se reservan el derecho de modificar características técnicas sin previo aviso. - ES ES - LDP100-01 - 25.10.2018

LDP100

Medidor óptico de partículas en aceite

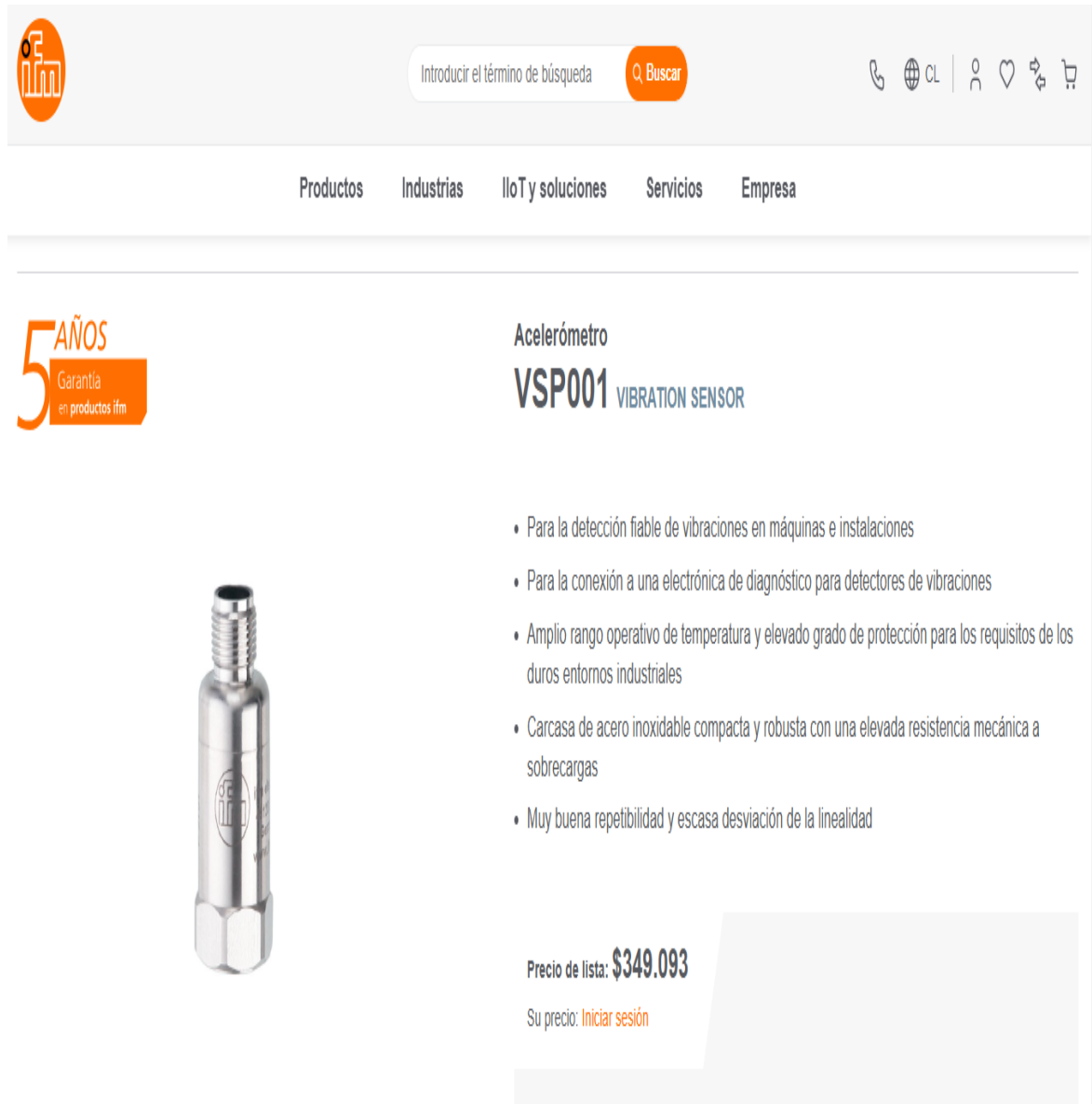
OIL PARTICLE MONITOR



Corriente máxima permanente de la salida de conmutación DC [mA]	500
Número de salidas analógicas	1
Salida analógica de corriente [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	(Ub - 4 V) / 20 mA; Ub = 24 V; 1000
Protección contra cortocircuitos	no
Resistente a sobrecargas	no
Rango de configuración / medición	
Rango de medición	0...20; (factor de frecuencia)
Precisión / variaciones	
Precisión	± 1; (factor de frecuencia)
Software / programación	
Opciones de parametrización	mediante botones, PC o E/S digitales
Interfaces	
Interfaz de comunicación	CAN
Protocolo	CANopen; SAE J1939
Condiciones ambientales	
Presión operativa	420; (dinámico: 0...420 bar; estático: 0...600 ±12 MPa bar) bar
Temperatura ambiente [°C]	-10...80
Temperatura de almacenamiento [°C]	-20...80
Grado de protección	IP 67
Homologaciones / pruebas	
MTTF [años]	97
Directiva sobre equipos a presión	Buenas prácticas de la técnica al uso; aplicable para fluidos del grupo 2; fluidos del grupo 1 previa solicitud
Datos mecánicos	
Peso [kg]	016,6
Materiales en contacto con el fluido	Carcas: inox (1.4028 / 420); visor: zafiro cromo-plataado; Junta de estanqueidad: NBR
Conexión de proceso	conexión de rosca M16 x 2 rosca exterior Minimes
Indicaciones / elementos de mando	
Indicación	1 LED, verde Power 1 LED, rojo Alarm Pantalla LCD, el valor indicado se corresponde con el grado de pureza según ISO 4406:21 y SAE AS4059F; NAS 1638 ver instrucciones de uso
Memorias de datos	
Tamaño de memoria	3000 registros de datos
Notas	
Cantidad por pack	1 unid.

Declaración CE - F0012345678 - 01/2018 - No se reservan el derecho de modificar características técnicas sin previo aviso. - ES ES - LDP100-01 - 25.10.2018

Anexo 2. Cotizaciones de la propuesta



The screenshot shows a product page for the VSP001 vibration sensor on the ifm website. The page features a navigation bar with the ifm logo, a search bar, and utility icons. A 5-year warranty badge is visible on the left. The product title is 'Acelerómetro VSP001 VIBRATION SENSOR'. A list of five bullet points describes the sensor's features. The price is listed as \$349.093, with a note to log in for the user's price.

5 AÑOS
Garantía
en productos ifm

Acelerómetro
VSP001 VIBRATION SENSOR

- Para la detección fiable de vibraciones en máquinas e instalaciones
- Para la conexión a una electrónica de diagnóstico para detectores de vibraciones
- Amplio rango operativo de temperatura y elevado grado de protección para los requisitos de los duros entornos industriales
- Carcasa de acero inoxidable compacta y robusta con una elevada resistencia mecánica a sobrecargas
- Muy buena repetibilidad y escasa desviación de la linealidad

Precio de lista: **\$349.093**

Su precio: [Iniciar sesión](#)



Hanna Instruments Chile 1 minuto atrás

Hola, bienvenido a Hanna Instruments Chile, ¿en que lo puedo ayudar?



SKU: HI 766F

Sonda Termopar Tipo K Flexible para Altas Temperaturas - HI766F

\$73.480 + IVA



AGREGAR AL CARRITO

COMPRAR AHORA

29 disponibles

El HI766F es una sonda termopar tipo K con recubrimiento flexible diseñada para usarse con un termómetro termopar. El cable se extiende 1m (3.3') desde el final del sensor hasta el conector del termopar con el equipo; el HI766F no tiene mango incorporado. La sonda flexible de acero inoxidable permite a los usuarios obtener lecturas altamente precisas de una variedad de superficies de alta temperatura.

Lecturas de hasta 1100°C (2000°F)





Introducir el término de búsqueda

Buscar



Productos Industrias IloT y soluciones Servicios Empresa

5 AÑOS
Garantía
en productos ifm



Medidor óptico de partículas en aceite

LDP100 OIL PARTICLE MONITOR

- Monitorización de tendencias mediante el análisis de la concentración de partículas
- Indicación de la clase de pureza en la pantalla LCD
- Rango de utilización de hasta 420 bar
- Bus CAN, salidas analógicas y de conmutación
- el valor indicado se corresponde con el grado de pureza según ISO 4406:21 y SAE AS4059F; NAS 1638



En los conectores hembra de 8 polos, los colores de los hilos no están normalizados. Observar siempre el conexionado del sensor y de los conectores hembra (véase ficha técnica). Tenga en cuenta las indicaciones técnicas del apartado "Descargas".

Precio de lista: **\$3.733.498**

Su precio: [Iniciar sesión](#)

