

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPO CRITICO DE UNA  
MAESTRANZA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO**

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

Alumno: Sebastian Francisco Donoso Orellana

Profesor Guía: Mg. Ing. Ricardo Javier Ciudad Cartagena

**2024**

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

**PALABRAS CLAVE:** CNC, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, EFICIENCIA OPERATIVA, RIESGO, ANÁLISIS DE FALLOS

La empresa MTCH Chile Ltda. ha integrado tecnología CNC en sus operaciones, logrando avances significativos en la producción de piezas y componentes con alta precisión y eficiencia. Sin embargo, junto con los beneficios tecnológicos, han surgido desafíos significativos que podrían comprometer la continuidad y la eficacia de las operaciones. La falta de un plan de mantenimiento integral y sistemático ha generado un entorno de riesgo que podría afectar la operatividad y la rentabilidad a largo plazo de la empresa.

Se ha identificado una tendencia preocupante en relación con el desempeño de las máquinas CNC, especialmente en los equipos que llevan más años en operación. Durante el último año, se han documentado 30 incidentes aproximadamente relacionados con fallos en componentes clave de estas máquinas, lo que ha resultado en una pérdida total de 34 horas de producción aproximadamente y un impacto financiero directo de CLP 9.650.000 al año. Este problema no solo compromete la eficiencia operativa, sino que también aumenta el riesgo de daños irreversibles en los equipos y plantea serias preocupaciones sobre la seguridad del personal.

Una investigación interna reveló que la principal causa de estos incidentes es la falta de un enfoque sistemático en la planificación del mantenimiento preventivo. Actualmente, solo el 15% de las actividades de mantenimiento son planificadas, mientras que el 85% restante responde a emergencias y fallos imprevistos. Este desequilibrio ha creado un ciclo de desgaste acelerado de los equipos y una dependencia excesiva de las reparaciones correctivas, lo que incrementa tanto los costos operativos como el riesgo de fallos catastróficos.

Para abordar esta problemática, se propone la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en un análisis exhaustivo de los modos de fallos y la criticidad de los componentes de las máquinas CNC. Esta estrategia se enfoca en anticipar posibles fallos antes de que ocurran, minimizando el riesgo de inactividad no planificada y extendiendo la vida útil de los equipos.

El primer paso en la implementación de este plan será llevar a cabo un análisis detallado de los datos históricos de fallos y mantenimiento, seguido de una evaluación de la criticidad de los equipos. A partir de estos datos, se puede hacer una evaluación de RCM para realizar una gestión optimizada. Se establecerá un calendario de mantenimiento preventivo que se alinee con los requisitos operativos de las máquinas y las condiciones específicas de la maestranza.

Además, se propone la adopción de tecnologías de monitoreo continuo, que permitan la detección temprana de anomalías en los equipos. Estos sistemas de monitoreo utilizarán sensores para rastrear el rendimiento en tiempo real, proporcionando alertas automáticas cuando se detecten desviaciones significativas de los parámetros normales de operación. Con este enfoque proactivo, se espera

Tener una optimización de recursos cercana o igual a un 40% y aumentar la eficiencia operativa en un 20%, lo que se traducirá en una mejora significativa de la rentabilidad y la seguridad

La adopción de un plan de mantenimiento preventivo, respaldado por un análisis riguroso de los modos de fallos y la criticidad de los componentes del equipo más crítico de la maestrana, permitirá abordar de manera efectiva los desafíos operativos actuales. Este enfoque no solo reducirá los riesgos asociados con los fallos imprevistos, sino que también optimizará el uso de los recursos y mejorará la seguridad del personal

Al implementar un sistema de monitoreo continuo y un calendario de mantenimiento preventivo, la empresa estará mejor posicionada para asegurar la continuidad de la producción, mejorar la calidad de los productos y garantizar la seguridad en el lugar de trabajo. Este enfoque proactivo contribuirá a la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones de la maestrana., consolidando su posición como líder en el sector de la fabricación asistida por computadora.

El presente informe se estructurará en tres capítulos clave:

### **1. Análisis de Criticidad y contexto operacional: Identificación del Equipo más Crítico**

En primer lugar, se detallará el contexto operacional de la maestrana, posteriormente se llevará a cabo un análisis de criticidad de las máquinas CNC presentes en la maestrana. Este análisis permitirá determinar cuál de estas máquinas tiene un impacto más significativo en la operación general y la producción. A través de una evaluación detallada de parámetros

### **2. Aplicación de RCM: Evaluación Cuantitativa de Riesgos y Fallas**

Con base en los resultados del análisis de criticidad, se procederá a implementar el RCM en el equipo más crítico de la maestrana. Esto involucra la identificación exhaustiva de los modos de fallo potenciales, los efectos de estos fallos en la producción y la operación, así como la asignación de niveles de criticidad. La utilización de escalas de evaluación permitirá cuantificar el impacto de cada escenario de falla, proporcionando una visión más precisa de los riesgos inherentes.

### **3. Acciones y Mejoras en el Mantenimiento: Base para Decisiones Fundamentadas**

Finalmente, basados en los resultados del RCM, se establecerán acciones específicas para mejorar las estrategias de mantenimiento existentes. Estas acciones podrían hacer que la maestrana esté mejor equipada para tomar decisiones fundamentadas que maximicen la disponibilidad de las máquinas CNC, minimizando así los tiempos de inactividad no planificados y mejorando la eficiencia operativa en su conjunto

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LOS EQUIPOS DE LA MAESTRANZA</b> .....	9
RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA .....	10
DESCRIPCIÓN DE LOS ACTIVOS A ANALIZAR.....	12
TORNO CNC .....	12
CENTRO DE MECANIZADO .....	13
CONTEXTO OPERACIONAL.....	14
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD.....	18
CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA MATRIZ DE CRITICIDAD.....	19
LEVANTAMIENTO DE DATOS.....	20
APLICACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD.....	21
DATOS HISTÓRICOS DEL EQUIPO CRÍTICO .....	23
<b>CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EFECTOS Y SU CRITICIDAD</b> .....	27
DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA A ANALIZAR .....	29
FÓRMULAS PARA CALCULAR EL RIESGO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO .....	30
DIFERENCIA ENTRE CALCULAR EL RIESGO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO EN MANTENIMIENTO .....	31
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EFECTOS Y CRITICIDAD .....	31
FALLAS FUNCIONALES, MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD: .....	33
NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO .....	37
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
<b>CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) Y EVALUACION DE COSTOS ASOCIADOS AI PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO Y ACTUAL.</b> 45	
ARBOL DE DECISIÓN PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	46
HOJA DE DECISIÓN RCM .....	50
PLAN DE MANTENIMIENTO.....	51
COMPARACION DE DATOS IMPORTANTES.....	52
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
<b>BIBLIOGRAFIAS</b> .....	56
<b>ANEXO</b> .....	57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 : "Logo de la empresa" .....	11
Ilustración 2: "Torno CNC con control FANUC" .....	12
Ilustración 3: "Centro de mecanizado con control FAGOR" .....	13
Ilustración 4: "Diagrama de flujo de la maestranza" .....	16
Ilustración 5: "Nivel de taxonomía" .....	17
Ilustración 6: "Tabla de datos de los activos de la empresa" .....	20
Ilustración 7: "Tabla de aplicación del modelo de criticidad" .....	21
Ilustración 8: "Matriz de criticidad de los activos de la maestranza" .....	22
Ilustración 9: "Datos históricos de los subsistemas del equipo crítico" .....	22
Ilustración 10: "grafico subsistema de husillo de trabajo " .....	23
Ilustración 11: "grafico subsistema conjunto de maniobras" .....	24
Ilustración 12: "nivel de taxonomia" .....	26
Ilustración 13: "esquema del husillo de trabajo del torno cnc critico" .....	27
Ilustración 14: "tabla de consecuencias para los modos de fallo" .....	28
Ilustración 15 : "Análisis de modos de falla efectos y criticidad " .....	30
Ilustración 16: "Matriz de criticidad para los modos de falla" .....	31
Ilustración 17: "Riesgo cualitativo del modo de falla" .....	32
Ilustración 18: "Riesgo cuantitativo del modo de falla" .....	33
Ilustración 19 : Ejemplo de ponderadores frecuencia de fallas NPR" .....	35
Ilustración 20: Ejemplo de ponderadores gravedad de fallas NPR" .....	35
Ilustración 21: Ejemplo de ponderadores detectabilidad de fallas NPR" .....	35
Ilustración 22 : Ponderadores frecuencia de fallas NPR" .....	35
Ilustración 23: Ponderadores gravedad de fallas NPR" .....	35
Ilustración 24: Ponderadores detectabilidad de fallas NPR" .....	35
Ilustración 25: "AMEF + NPR" .....	36
Ilustración 26: "Grafico NPR" .....	37
Ilustración 27: "Árbol de decisión RCM" .....	40
Ilustración 28: "Árbol de decisión RCM" .....	41
Ilustración 29: "Hoja de decisión RCM" .....	44
Ilustración 30: "Plan de mantenimiento basado en RCM" .....	45
Ilustración 31: "tabla comparativa de datos" .....	46
Ilustración 32: "tabla comparativa entre plan de mantenimiento sin RCM y con RCM" .....	46
Ilustración 33: "7 Pasos para realizar un analisis RCM" .....	37
Ilustración 34 "Diagrama de proceso para la funcion mantenimeinto" .....	40

## SIGLAS SIMBOLOGÍA Y TERMINOLOGIA

<b>RCM:</b>	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad ( <i>Reliability-Centered b Maintenance</i> )
<b>AMEFC:</b>	análisis de modos de falla efectos y criticidad
<b>MTCH:</b>	Manufacturas tecniplastic
<b>CNC:</b>	Control numérico computarizado
<b>SAE:</b>	Sociedad de ingenieros automotrices" ( <i>Society of Automotive Engineers</i> )
<b>ISO:</b>	Organización internacional de normalización
<b>KPI:</b>	Indicador clave de desempeño ( <i>Key Performance Indicator</i> )
<b>MTBF:</b>	Tiempo medio entre fallas ( <i>Mean Time Between Failures</i> )
<b>MTTR:</b>	Tiempo Medio de Reparación ( <i>Mean Time to Repair</i> )
<b>RPM:</b>	Revoluciones por Minuto

## **INTRODUCCIÓN**

En el entorno industrial, donde la eficiencia y la productividad son pilares esenciales para lograr una ventaja competitiva, el mantenimiento de los activos, como las máquinas CNC en una maestría, adquiere una relevancia crucial. La confiabilidad y disponibilidad de estas máquinas son factores determinantes para asegurar una producción continua y de alta calidad. En este contexto, la aplicación de metodologías de análisis de riesgos y fallas se erige como un componente fundamental para optimizar los procesos de mantenimiento y mitigar los impactos negativos en la operación.

La gestión eficaz del mantenimiento de equipos críticos en una maestría industrial es indispensable para garantizar la continuidad operativa, la seguridad y la rentabilidad. En un entorno caracterizado por alta competitividad y una creciente demanda de calidad y eficiencia, la implementación de un plan de mantenimiento adecuado se convierte en una necesidad imperativa. En este contexto, el presente informe de tesis tiene como objetivo principal proponer la implementación de un plan de mantenimiento basado en el enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para un equipo crítico en una maestría ubicada en la ciudad de Santiago.

El equipo crítico en cuestión es de vital importancia para la producción y la integridad operativa de la maestría, y su correcto funcionamiento es esencial para mantener los estándares de calidad, reducir los tiempos de inactividad no planificados y, en última instancia, optimizar los recursos disponibles. La aplicación del enfoque de RCM proporcionará una metodología estructurada y científica para determinar las estrategias de mantenimiento más apropiadas, con el objetivo de maximizar la confiabilidad de este equipo crítico mientras se optimizan los costos asociados.

A lo largo de este informe, se abordarán aspectos clave relacionados con el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, la identificación de equipos críticos, el análisis de modos de falla, los efectos de dichas fallas, y la formulación de estrategias de mantenimiento específicas. Además, se presentarán estudios de caso relevantes y se evaluará el impacto potencial de la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM en la maestría de Santiago.

La propuesta de implementación de este plan de mantenimiento busca contribuir significativamente a la eficiencia operativa de la maestría, al tiempo que promueve una cultura de confiabilidad y mantenimiento proactivo en la organización. Este enfoque se alinea con las mejores prácticas de la industria y se espera que tenga un impacto positivo en la productividad, la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo de la maestría.

## **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo principal de este informe de tesis es implementar un plan integral de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en las instalaciones de la maestranza MTCH Chile Ltda., respaldado por un análisis exhaustivo de modos de fallo, estrategias de mantenimiento y resultados cuantificables. Este enfoque tiene como finalidad optimizar la confiabilidad y eficiencia del equipo crítico de la maestranza, asegurando la prolongación de su vida útil mediante la aplicación de un enfoque estratégico y proactivo en el mantenimiento.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Realizar un análisis de criticidad exhaustivo para identificar el equipo más crítico en la maestranza, con el propósito de obtener una visión integral de los factores que pueden comprometer su confiabilidad. Este análisis permitirá seleccionar un subsistema directamente relacionado con la interrupción de la función principal del equipo, utilizando datos históricos como base.
2. Desarrollar un Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (AMEFC) en el subsistema del equipo crítico identificado, con el objetivo de diseñar una estrategia proactiva y específica que mantenga y optimice la confiabilidad y eficiencia operativa del equipo.
3. Implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) mediante la ejecución del plan, procedimientos y actividades de mantenimiento en la maestranza, con el objetivo de aplicar las estrategias diseñadas para mejorar la confiabilidad y extender la vida útil del equipo crítico.

**CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LOS EQUIPOS DE LA MAESTRANZA**

## **RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA**

La empresa MTCH, a lo largo de su historia, ha demostrado ser un ejemplo destacado de evolución y adaptabilidad en el sector de la manufactura. Fundada en el año 2005, inició su trayectoria como una empresa de manufactura modesta, cuya producción se basaba en el uso de máquinas convencionales de torno y fresas. Estas máquinas, aunque eficientes en su época, representaban las limitaciones tecnológicas del momento, restringiendo el potencial de la empresa en términos de precisión y flexibilidad operativa.

Durante sus primeros años, se enfrentó a los desafíos inherentes a las técnicas de manufactura tradicionales, enfrentando una competencia creciente y un mercado en constante evolución. Sin embargo, fue en el quinto año de su apertura cuando la empresa tomó una decisión estratégica que marcaría un punto de inflexión en su historia. Decidiendo romper con las prácticas convencionales, optó por una inversión significativa en tecnología avanzada al adquirir máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC). Este cambio radical no solo representó una actualización tecnológica, sino una reinención total de su proceso de manufactura.

La integración de tornos CNC y centros de mecanizado en la línea de producción permitió a MTCH alcanzar niveles de precisión y flexibilidad previamente inalcanzables. Estas máquinas, al operar bajo un control informatizado, ofrecieron a la empresa la capacidad de realizar cortes y acabados con una exactitud milimétrica, optimizando el proceso de manufactura y reduciendo significativamente el margen de error. La transición a la tecnología CNC no solo mejoró la eficiencia operativa, sino que también posicionó a la empresa como un competidor formidable en un mercado altamente competitivo.

El impacto de esta transformación tecnológica fue inmediato y profundo. La capacidad de la maestría para fabricar piezas y componentes con una calidad superior le permitió explorar nuevas oportunidades de mercado y satisfacer una gama más amplia de necesidades de los clientes. Además, la flexibilidad inherente a las máquinas CNC permitió a la empresa adaptarse rápidamente a los cambios en las demandas del mercado y en las especificaciones de los proyectos, consolidando su reputación como un proveedor innovador y fiable.

A lo largo de los años, la compañía ha continuado evolucionando y adaptándose, consolidándose como un actor clave en la industria de la manufactura. Los proyectos exitosos y la calidad consistente de sus productos han contribuido a fortalecer su posición en el mercado, destacando su capacidad para mantenerse a la vanguardia de la tecnología y las tendencias de la industria. Esta perseverancia y dedicación a la innovación han sido los pilares sobre los cuales MTCH ha construido su éxito duradero.

Hoy en día, celebra con orgullo dos décadas de evolución tecnológica y empresarial. La empresa ha demostrado que el coraje de abandonar métodos convencionales en favor de la excelencia

tecnológica puede resultar en una trayectoria ascendente y exitosa. Su historia es un testimonio inspirador de cómo una visión audaz y una inversión estratégica en tecnología pueden transformar una empresa modesta en un líder destacado en el sector de la manufactura.

La trayectoria de MTCH no solo refleja un viaje de crecimiento y adaptación, sino también un compromiso continuo con la excelencia. En un entorno industrial cada vez más dinámico y desafiante, ha sabido aprovechar las oportunidades que la tecnología ofrece, asegurando su relevancia y éxito en el competitivo mundo de la manufactura. Este legado de innovación y perseverancia sigue siendo la fuerza motriz que impulsa a la empresa hacia el futuro, estableciendo un estándar de calidad y avance tecnológico en la industria.



Ilustración 1 : "Logo de la empresa"

(Fuente: Pagina web de la empresa)

## **DESCRIPCIÓN DE LOS ACTIVOS A ANALIZAR**

Las máquinas CNC, acrónimo de "Control Numérico por Computadora", son máquinas de fabricación automatizados que operan mediante instrucciones programadas por computadora para realizar operaciones de mecanizado de alta precisión en materiales como metales, plásticos y cerámicas. Estas máquinas son esenciales en la industria manufacturera moderna debido a su capacidad para ejecutar tareas repetitivas y complejas con exactitud en el análisis de este informe se estará basando en dos de estos tipos de máquinas que son los tornos CNC y los centros de mecanizado. A continuación, se dará una breve descripción de los que hacen este tipo de máquinas

### **TORNO CNC**

Los tornos CNC son máquinas de mecanizado que giran una pieza de trabajo alrededor de un eje horizontal o vertical mientras una herramienta de corte elimina material para dar forma a la pieza. Estos tornos son controlados por programas de computadora que definen los movimientos precisos de la herramienta y la velocidad de rotación de la pieza. Los tornos CNC son ideales para crear piezas cilíndricas, conos, roscas y perfiles detallados con alta precisión y repetibilidad.



Ilustración 2:"Torno CNC con control FANUC"

(Fuente: manual técnico de la empresa)

## **CENTRO DE MECANIZADO**

Los centros de mecanizado son máquinas CNC que utilizan herramientas giratorias para realizar operaciones de fresado, taladrado y roscado en piezas en múltiples ejes. Estas máquinas pueden ejecutar una variedad de operaciones complejas en una sola configuración, lo que aumenta la eficiencia de producción.



Ilustración 3:"Centro de mecanizado con control FAGOR"

(Fuente: manual técnico de la empresa)

## **CONTEXTO OPERACIONAL**

Desde su transición hacia el uso de tecnología CNC, la empresa ha redefinido sus procesos internos para maximizar la eficiencia y la precisión en la manufactura. La implementación de tornos CNC y centros de mecanizado avanzados ha permitido a la empresa optimizar sus operaciones, reducir los tiempos de producción y mejorar la calidad del producto final. Los procesos internos también abarcan un sistema integral de gestión de la cadena de suministro que asegura una coordinación efectiva desde la adquisición de materiales hasta la entrega de los productos, contribuyendo a la reducción de costos y a la mejora continua de la calidad.

La empresa está organizada en una estructura departamental que facilita una operación eficaz y la toma de decisiones informada. El departamento de ingeniería lidera la integración y el mantenimiento de la tecnología CNC, asegurando que la empresa se mantenga a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas. El área de producción supervisa la manufactura y el control de calidad, implementando procesos estandarizados para garantizar la consistencia en la producción. Además, el equipo de ventas y atención al cliente se encarga de gestionar las relaciones y adaptar las ofertas de la empresa a las demandas del mercado.

La inversión en tecnología avanzada ha sido fundamental para el éxito de la maestría. La empresa utiliza máquinas de última generación, lo que le permite realizar operaciones complejas con alta precisión. Además, el uso de software de gestión empresarial facilita la planificación y el seguimiento de los procesos productivos, optimizando la eficiencia y la respuesta a los cambios en la demanda del mercado. Esta infraestructura tecnológica no solo mejora la capacidad de producción, sino que también permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades del cliente.

El capital humano es un activo crítico para la empresa. Emplea a un equipo de profesionales altamente capacitados. El enfoque en la formación continua y el desarrollo profesional asegura que el personal esté actualizado con las últimas tendencias y tecnologías en manufactura. La empresa promueve un entorno de trabajo colaborativo y de alta competencia, lo que contribuye a la innovación y a la mejora constante en los procesos productivos.

Opera en un mercado altamente competitivo donde la demanda de componentes de precisión está en constante evolución. Enfrentan desafíos tales como la fluctuación en los precios de los materiales y la presión de los competidores que también emplean tecnología avanzada. Para mantener su competitividad, debe no solo ofrecer productos de alta calidad, sino también ser ágil en la respuesta a las nuevas tendencias del mercado y en la adaptación a las necesidades cambiantes de los clientes.

En respuesta a las crecientes demandas de sostenibilidad, la empresa ha integrado prácticas responsables en su operación. Se enfoca en la reducción de desechos y la optimización de recursos, implementando iniciativas que buscan minimizar su impacto ambiental. Estas prácticas no solo responden a las expectativas del mercado, sino que también refuerzan el compromiso de la empresa con la responsabilidad corporativa y la sostenibilidad a largo plazo.

El proceso productivo en la maestría MTCH implica varias etapas, que se describen a continuación:

**1.Recepción del pedido:** El proceso comienza con la recepción de un pedido por parte del cliente. El pedido puede incluir especificaciones técnicas, dibujos o modelos de las piezas que se desean fabricar.

**2.Diseño y programación:** Una vez recibido el pedido, se realiza el diseño y la programación de las máquinas CNC. Esto implica utilizar software especializado para traducir las especificaciones de las piezas en instrucciones de código numérico que las máquinas pueden seguir.

**3.Selección de materiales:** Se seleccionan los materiales metálicos adecuados según las especificaciones del cliente. Pueden utilizarse diferentes tipos de metales, como acero, aluminio, bronce, entre otros.

**4.Preparación de la máquina:** Se realiza la preparación de la máquina CNC para el mecanizado. Esto implica montar y ajustar las herramientas de corte, así como asegurarse de que la máquina esté correctamente calibrada.

**5.Mecanizado:** Una vez que la máquina está preparada, se inicia el mecanizado de las piezas. El CNC controla los movimientos precisos de las herramientas de corte para dar forma a los materiales según las especificaciones del diseño. El proceso de mecanizado puede incluir operaciones como fresado, torneado, taladrado, roscado, entre otros.

**6.Control de calidad:** Durante y después del mecanizado, se realizan controles de calidad para asegurarse de que las piezas cumplan con las tolerancias y especificaciones requeridas. Se utilizan instrumentos de medición precisos para verificar las dimensiones y características de las piezas fabricadas.

**7.Acabado y tratamiento superficial:** Una vez mecanizadas, las piezas pueden pasar por procesos adicionales de acabado, como pulido, rectificado o tratamientos superficiales como anodizado, galvanizado, pintura, entre otros, según los requisitos del cliente.

**8.Embalaje y envío:** Una vez completadas y verificadas las piezas, se realiza el embalaje adecuado para su protección durante el transporte. Las piezas se envían al cliente de acuerdo con los plazos y condiciones acordadas

## DIAGRAMA DE FLUJO DE LA MAESTRANZA

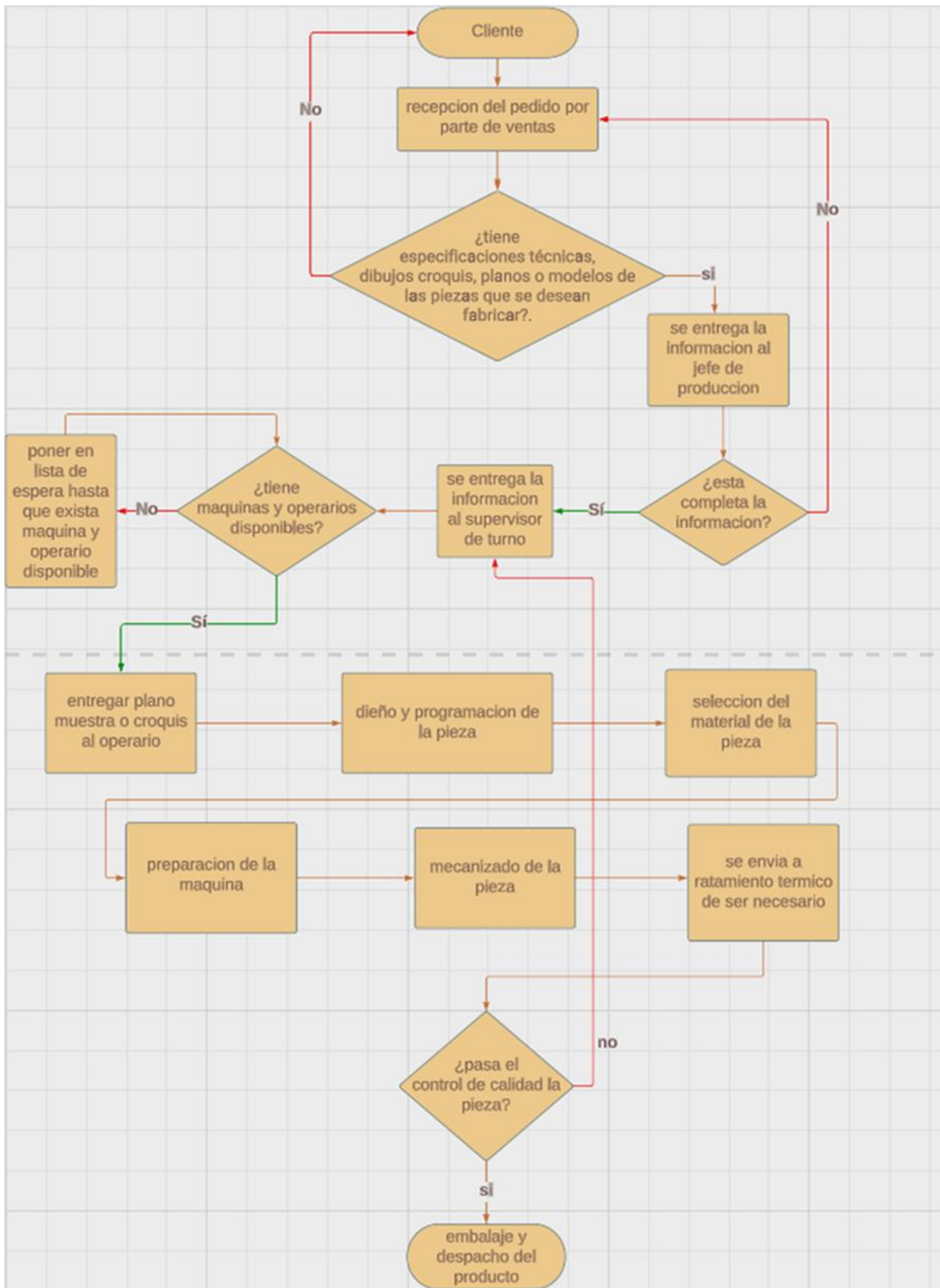


Ilustración 4:"Diagrama de flujo de la maestranza"

(Fuente: elaboración propia a partir de datos de la empresa)

**NIVEL DE TAXONOMÍA JERÁRQUICA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD SEGÚN NORMA ISO 14224**

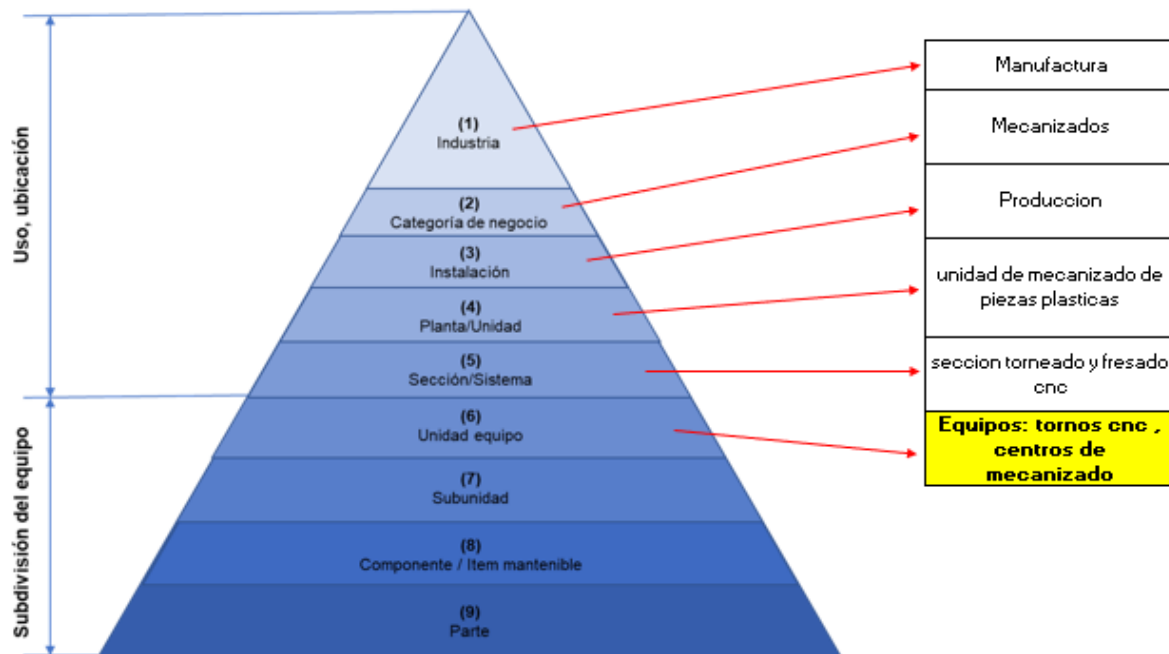


Ilustración 5: "Nivel de taxonomía"

(Fuente: norma ISO 14224)

Siguiendo la norma ISO 14224 la pirámide de taxonomía busca lograr una estructura consistente y uniforme para la categorización de los Activos, lo que facilita la recopilación, el análisis y la gestión de datos. Como se aprecia en la imagen para realizar el análisis de criticidad del equipo más crítico de la maestranza se llegó hasta el nivel de equipos donde encontramos en este caso tonos CNC y centros de mecanizado

## FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

- **CTR:** Criticidad Total por Riesgo
- **FF:** Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinando (fallos/año) o por un nivel ponderado)
- **C:** Consecuencias de los eventos de fallos

Donde se supone además que el valor de las consecuencias (C) se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Esto donde:

- **IO:** Factor de impacto en la producción
- **FO:** Factor de flexibilidad operacional
- **CM:** Factor de costes de mantenimiento
- **SHA:** Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

La expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$$

## **CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA MATRIZ DE CRITICIDAD**

### **Factor de Frecuencia de fallos (FF) (Escala 1-4)**

4: Frecuente: Mayor a 5 eventos al año

3: Promedio: 3 y 5 eventos al año

2: Bueno: Entre 2 y 3 al año

1: Excelente: Menos de 3 eventos al año

### **Factores de consecuencias o Impacto Operacional (IO) (Escala 1-5)**

5: Pérdidas de producción superiores a 7.000.000

4: Pérdidas de producción entre el 2.000.000 y 7.000.000

3: Pérdidas de producción entre el 1.500.000 y 2.000.000

2: Pérdidas de producción entre el 500.000 y 1.500.000

1: Pérdidas de producción menor a 500.000

### **Impacto por flexibilidad Operacional (FO) (Escala 1-3)**

3: No se cuenta con maquinaria de respaldo para cubrir la producción

2: Se cuenta con máquinas de respaldo que logran cubrir de forma parcial el impacto en la producción

1: Se cuenta con unidades de respaldo, tiempos de reparación y logística pequeños

### **Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (Escala 1-2)**

2: Costes por recursos utilizados superiores a 2.000.000 CLP

1: Costes por recursos utilizados inferiores a 2.000.000 CLP

### **Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA/SEI) (Escala 1-4)**

4: Riesgo alto de pérdidas de vida, daños graves a la salud del personal incidente ambiental mayor(catastrófico)

3: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud de los agentes interesados, incidente ambiental de restauración compleja

2: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), retrasos fáciles de contener

1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

## LEVANTAMIENTO DE DATOS

Conociendo el contexto operacional y el proceso productivo de la maestranza, se realiza el siguiente levantamiento de los principales equipos de producción:

MTCH maestranza		
Equipos de producción de manufactura		
Departamento	Equipo	Código de verificación
Produccion	Centro de mecanizado Fagor	CM-1.1
Produccion	Centro de mecanizado Fagor	CM-1.2
Produccion	Centro de mecanizado Fanuc	CM-1.3
Produccion	Centro de mecanizado Fanuc	CM-1.4
Produccion	Torno CNC Fanuc	TCNC-1.1
Produccion	Torno CNC Fanuc	TCNC-1.2
Produccion	Torno CNC GSK	TCNC-1.3
Produccion	Torno CNC GSK	TCNC-1.4

Ilustración 6: "Tabla de datos de los activos de la empresa"

(Fuente: elaboración propia)

Posteriormente al realizar el levantamiento de los equipos a analizar, se procede a elaborar una segunda tabla en la cual se abordarán los criterios de evaluación pertinentes y se aplicarán las fórmulas previamente expuestas. Esta etapa es crucial para establecer la matriz de criticidad, que permite identificar y priorizar los equipos en función de su importancia y riesgo potencial.

Es importante señalar que las ponderaciones asignadas a los distintos equipos fueron determinadas por los operarios de la maestranza. Este enfoque se ha basado en la premisa de que los operarios, quienes interactúan diariamente con estos equipos, poseen un conocimiento profundo y detallado de su funcionamiento, condiciones y posibles fallos. Su experiencia práctica les otorga una perspectiva única y precisa sobre los criterios de evaluación que son más relevantes para cada equipo.

La razón para no proporcionar documentación externa que respalde los puntajes asignados por el equipo multidisciplinario se debe a la naturaleza especializada y contextual de la evaluación. Los operarios, al trabajar directamente con los equipos, están en una posición privilegiada para evaluar los factores críticos basados en su experiencia cotidiana, que puede no ser completamente capturada por documentación estándar o metodologías externas. Además, el proceso de asignación de puntajes se realizó en sesiones colaborativas y consensuadas, donde se discutieron y validaron

las evaluaciones en conjunto, asegurando así la coherencia y precisión en la asignación de las ponderaciones.

Por lo tanto, el respaldo a la asignación de puntajes se fundamenta en la experiencia y el conocimiento práctico del equipo de operarios, quienes, mediante su experticia diaria, ofrecen una evaluación informada y confiable. Esta metodología asegura que la matriz de criticidad refleje de manera precisa la realidad operativa y los riesgos asociados a cada equipo, alineándose con las mejores prácticas de evaluación en el contexto de la maestría.

### **APLICACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD**

TABLA DE CRITICIDAD									
EQUIPOS	CODIGO DE VERIFICACION	FF	IO	FO	CDM	I(SHA)	C	CTRITICIDAD	JERARQUIZACION
Torno CNC Fanuc	TCNC-1.2	4	4	2	2	4	14	56	CRITICO
Torno CNC GSK	TCNC-1.4	3	3	1	1	4	8	24	SEMICRITICO
Centro de mecanizado Fanuc	CM-1.3	3	2	1	1	4	7	21	SEMICRITICO
Torno CNC GSK	TCNC-1.3	2	4	1	2	4	10	20	SEMICRITICO
Centro de mecanizado Fanuc	CM-1.4	2	1	2	1	4	7	14	SEMICRITICO
Centro de mecanizado Fagor	CM-1.1	1	2	2	1	4	9	9	NO CRITICO
Torno CNC Fanuc	TCNC-1.1	1	2	1	1	4	7	7	NO CRITICO
Centro de mecanizado Fagor	CM-1.2	1	1	1	1	4	6	6	NO CRITICO

Ilustración 7: "Tabla de criticidad"

(Fuente: elaboracion propia)

En esta tabla podemos apreciar la aplicación de la matriz de criticidad, en las primeras dos columnas podemos ver el nombre de cada uno de los activos junto con su respectivo código de verificación para poder diferenciarse, luego tenemos los criterios de evaluación que por medio de los operarios de los equipos se pudo sustraer la información requerida de acuerdo con los ponderadores para cada criterio que se vieron al principio de este informe, donde:

**FF:** frecuencia de fallos

**IO:** impacto operacional

**FO:** flexibilidad operacional

**CDM:** costos de mantenimiento

**I(SHA):** impacto en la seguridad higiene y ambiente

**C:** consecuencia

Con los datos obtenidos, se procedió a calcular tanto la consecuencia como la criticidad de los equipos. A partir de estos cálculos, es posible realizar varios análisis relacionados con ambos aspectos. No obstante, dado que el enfoque está centrado en el equipo más crítico, nos referiremos específicamente a este caso.

El equipo identificado como el más crítico es un torno CNC con control Fanuc. Este equipo presentó una consecuencia de 14 y una criticidad de 56, situándose, así como el equipo más crítico de la maestranza. La elevada criticidad de este torno CNC se debe a varios factores. En primer lugar, es una de las primeras máquinas que se incorporó a la maestranza, y ha estado en funcionamiento durante casi 16 años. A lo largo de este tiempo, el equipo ha experimentado un incremento progresivo en los eventos de fallo. Este aumento en los fallos ha tenido un impacto ascendente en los costos asociados y en los riesgos de seguridad, reflejando así una creciente necesidad de atención y mantenimiento para mitigar los posibles efectos adversos sobre la operación general de la maestranza.

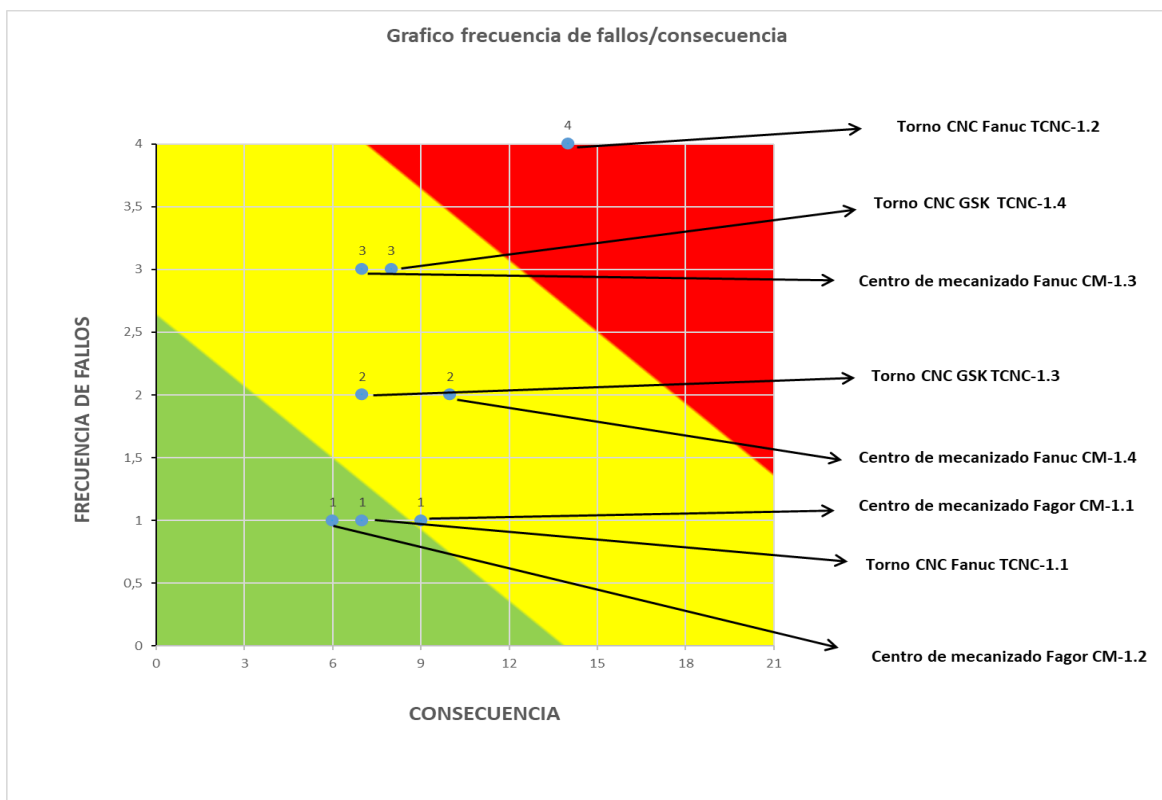


Ilustración 8: "Matriz de criticidad de los activos de la maestranza"

(Fuente elaboración propia a partir de datos de la empresa")

Para un análisis más visual, es posible construir una matriz de criticidad utilizando un gráfico de dispersión. Este gráfico ilustra claramente la posición de cada equipo en función de dos variables clave: la frecuencia de fallos y las consecuencias asociadas.

En el gráfico de dispersión, el eje horizontal representa la frecuencia de fallos, mientras que el eje vertical refleja las consecuencias de dichos fallos. La visualización permite identificar de manera intuitiva cuál es el equipo más crítico y cuál es el menos crítico. Sin embargo, es esencial aclarar que la frecuencia de fallos no se interpreta literalmente como el número de fallos ocurridos en el año. En cambio, esta frecuencia está asociada a una puntuación basada en criterios de evaluación ponderados. Por ejemplo, un equipo que se clasifica con una frecuencia de fallos de puntuación 4 indica que dicho equipo experimenta más de cinco fallos al año según los criterios de evaluación aplicados.

La evaluación de las consecuencias, por su parte, también se determina a partir de los criterios de evaluación previamente establecidos. Estos criterios toman en cuenta el impacto de los fallos en la operación del equipo, como la pérdida de producción, el costo de reparación y otros factores relevantes. Así, el gráfico proporciona una representación visual que facilita la identificación de los equipos con mayor criticidad, permitiendo una gestión más eficaz y priorizada de los recursos.

Esta metodología no solo ofrece una perspectiva clara de los equipos más críticos en función de la frecuencia y las consecuencias de los fallos, sino que también proporciona una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la gestión de mantenimiento y la optimización de procesos. Al analizar visualmente estos datos, los responsables pueden enfocar sus esfuerzos en los equipos que presentan un mayor riesgo, mejorando la eficiencia operativa y minimizando posibles interrupciones en la producción.

### **DATOS HISTÓRICOS DEL EQUIPO CRÍTICO**

A continuación, se presentan datos históricos de los dos subsistemas más utilizados del equipo crítico. Estos subsistemas son esenciales para el funcionamiento continuo de la máquina, ya que su falla puede interrumpir la operación normal del equipo.

En cuanto al planteamiento sobre si el torno podría operar sin estos subsistemas, es importante señalar que ambos desempeñan funciones críticas para el rendimiento y la seguridad del equipo. Uno de ellos asegura la estabilidad operativa y la precisión del proceso de torneado, mientras que el otro controla automáticamente funciones clave del torno. La ausencia de estos subsistemas

comprometería su capacidad para funcionar de manera segura y confiable. Por lo tanto, eliminar estos subsistemas no es una opción viable si se desea mantener el rendimiento óptimo y la integridad operativa del torno.

A continuación, se explican brevemente de que constan estos dos subsistemas que analizaremos. Para así darle más contexto al caso que estamos viendo

**Husillo de trabajo:** El husillo de trabajo en un torno CNC (Control Numérico por Computadora) es un componente fundamental que juega un papel crucial en el proceso de mecanizado. Su función principal es proporcionar el movimiento rotacional necesario para la pieza de trabajo, permitiendo así que el torno realice cortes precisos y detallados.

En términos técnicos, el husillo de trabajo es un eje cilíndrico motorizado que se encuentra en la parte frontal del torno. Está diseñado para girar a altas velocidades y con una precisión exacta, lo que permite al operario o al sistema CNC realizar operaciones de torneado con alta exactitud. El husillo se conecta directamente con la pieza de trabajo, asegurando que esta se mantenga fija y estable durante el proceso de mecanizado.

El husillo de trabajo está equipado con sistemas de sujeción que permiten montar y asegurar la pieza de trabajo de manera firme. Estos sistemas pueden incluir mandriles, porta piezas y otros dispositivos de sujeción que se ajustan al tipo de material y al tamaño de la pieza a mecanizar. La capacidad del husillo para mantener una velocidad constante y controlar el torque es esencial para garantizar la calidad del acabado superficial y la precisión dimensional de las piezas producidas.

Además, el husillo de trabajo en un torno CNC está integrado con el sistema de control numérico, lo que permite la programación de diferentes velocidades y patrones de rotación. Esta integración facilita la automatización del proceso de torneado, optimizando tanto la eficiencia como la precisión del trabajo.

**Conjunto de maniobras:** Se refiere a la serie de movimientos y acciones que se realizan en el área donde se montan y desplazan las herramientas de corte para ejecutar las operaciones de mecanizado. Este conjunto de maniobras es fundamental para la precisión y eficacia del proceso de torneado, permitiendo transformar el material en la pieza final con alta exactitud.

El carro portaherramientas es la estructura que sostiene las herramientas de corte. Este carro se desplaza en dirección longitudinal (eje Z) y transversal (eje X) sobre la base del torno, permitiendo que las herramientas se acerquen o se alejen de la pieza de trabajo según sea necesario.

Las herramientas de corte pueden moverse en varias direcciones para realizar diferentes tipos de operaciones. El sistema CNC controla estos movimientos con precisión, permitiendo que las herramientas realicen cortes en diversos ángulos y profundidades, conforme al diseño programado.

El avance de la herramienta se refiere al movimiento de esta en dirección hacia la pieza de trabajo para efectuar el corte. El retroceso es el movimiento inverso que aleja la herramienta de la pieza una vez completado el corte. Ambos movimientos son coordinados automáticamente por el sistema CNC para garantizar la precisión en el mecanizado.

Los tornos CNC modernos a menudo cuentan con un sistema automático de cambio de herramientas, que permite la selección y sustitución de herramientas sin intervención manual. Este mecanismo asegura que la herramienta correcta esté en posición para cada operación, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo el tiempo de inactividad.

Datos historicos del equipo critico				
Equipo	codigo de verificacion	Subsistema	Año	MTTR (hrs)
Torno CNC Fanuc	TCNC-1.2	Husillo de trabajo	2017	3
			2018	5
			2019	3
			2020	6
			2021	9
			2022	18
			2023	36
		Conjunto de maniobras	2017	2
			2018	4
			2019	3
			2020	6
			2021	5
			2022	12
			2023	15

Ilustración 9: "Datos históricos de los subsistemas del equipo crítico"

(fuente: elaboración propia a partir de datos de la empresa)

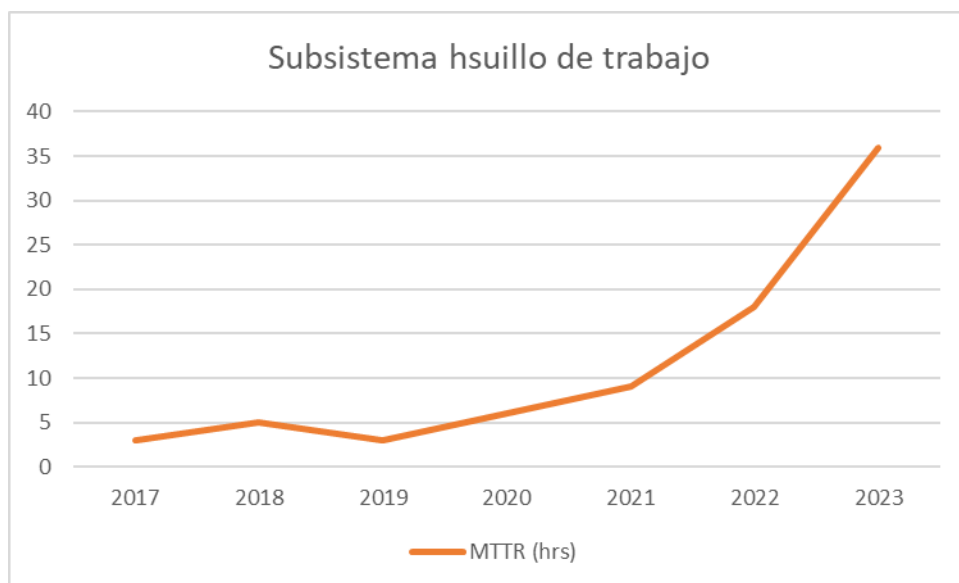


Ilustración 10: "gráfico subsistema de husillo de trabajo"

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la empresa)

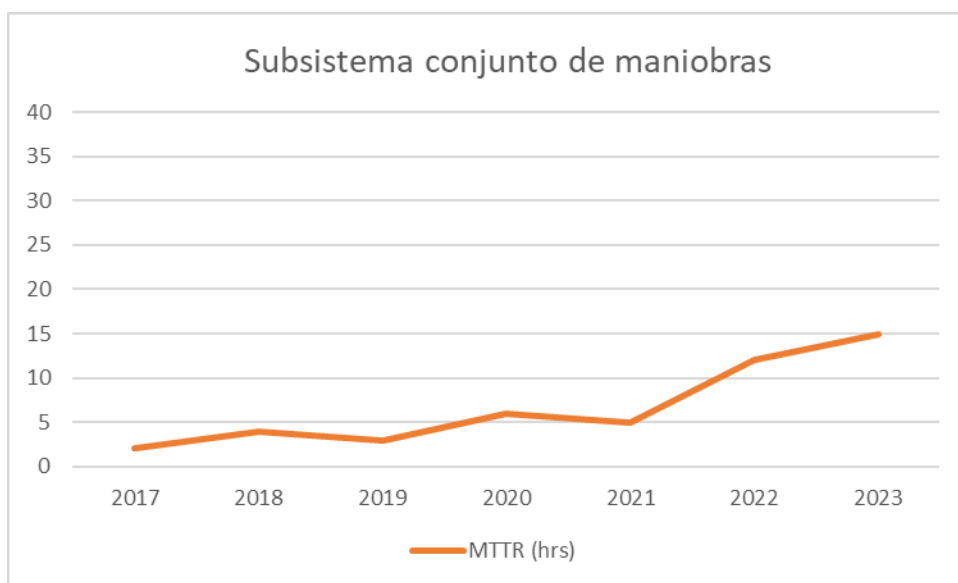


Ilustración 11: "gráfico subsistema conjunto de maniobras"

(Fuente elaboración propia a partir de datos de la empresa)

Como se puede apreciar gracias a los datos históricos del equipo se puede hacer una preevaluación del equipo más crítico, jerarquizando así cual es el subsistema más crítico para la máquina que se está analizando, tomando así los datos de los tiempos medio para reparar, con esto ya podemos pasar al capítulo 2 donde se procede a realizar el análisis correspondiente a dicho subsistema del equipo

## **CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EFECTOS Y SU CRITICIDAD**

## **NIVEL DE TAXONOMÍA JERÁRQUICA PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EFECTOS Y CRITICIDAD SEGÚN NORMA ISO 14224**

Para el análisis que se presenta a continuación, es fundamental definir el nivel taxonómico en el cual nos encontraremos. Según la pirámide de jerarquización, nos centraremos en el nivel 7, que corresponde a la subunidad. En el Capítulo 1, se identificó y determinó cuál es el equipo crítico en la maestranza. Con esta información establecida, procedemos a realizar un análisis detallado del husillo de dicho equipo crítico, que en este caso es uno de los tornos CNC.

El torno CNC seleccionado para este análisis es uno de los equipos más antiguos en la maestranza, siendo uno de los primeros en ser incorporado al inventario de la máquina. Esta antigüedad, combinada con el uso prolongado al que ha sido sometido, contribuye a que este torno sea considerado el equipo más crítico dentro de la maestranza.

El husillo es un componente crucial del torno CNC, y su importancia radica en su función esencial para el funcionamiento óptimo de la máquina. El husillo se encarga de proporcionar el movimiento rotacional necesario para que la pieza de trabajo pueda ser mecanizada con precisión. Sin el funcionamiento adecuado del husillo, el torno no podría realizar las operaciones de corte y torneado de manera efectiva, comprometiendo así la capacidad de la máquina para cumplir con su propósito.

La elección del husillo como objeto de análisis se justifica por su papel fundamental en la operatividad del torno. Un fallo en el husillo no solo detiene el proceso de mecanizado, sino que también puede provocar una pérdida significativa de productividad y un aumento en los tiempos de inactividad, afectando negativamente la eficiencia general de la maestranza. Dado que el husillo es esencial para mantener la funcionalidad de la máquina, cualquier problema asociado con este componente puede tener un impacto considerable en la capacidad de la máquina para desempeñar su función principal.

Por lo tanto, el análisis detallado del husillo del torno CNC permitirá identificar posibles deficiencias y áreas de mejora en este componente. Este enfoque asegura que se aborden de manera efectiva los problemas que pueden afectar la operatividad del equipo, optimizando así su rendimiento y prolongando su vida útil. El objetivo de este análisis es garantizar que el husillo funcione de manera confiable y eficiente, minimizando el riesgo de fallas y maximizando la eficacia del torno CNC en la maestranza.

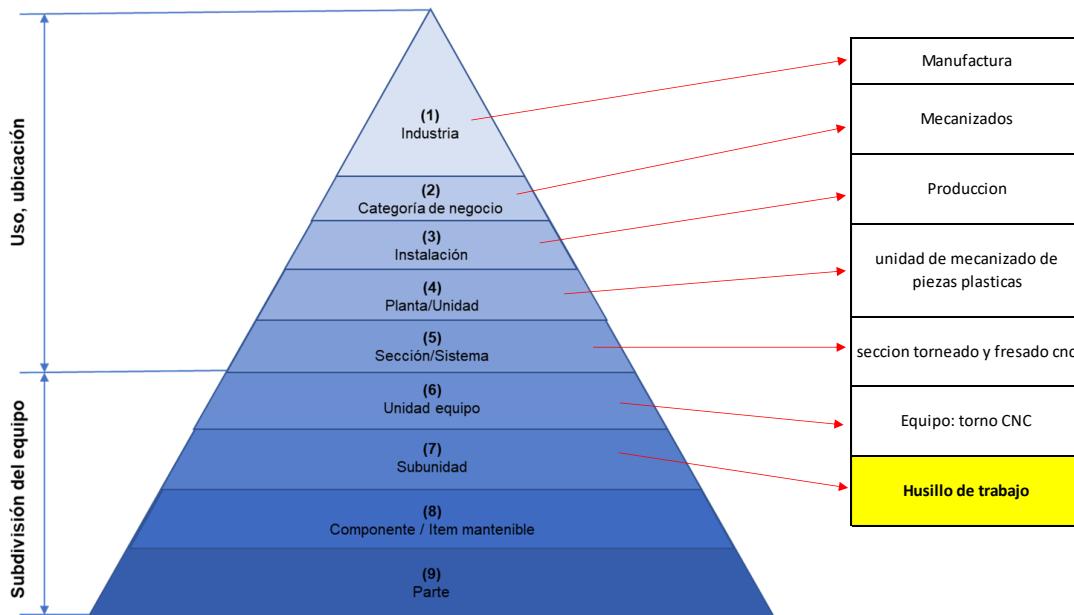


Ilustración 12: "Nivel de taxonomía"

(Fuente: norma ISO 14224)

## DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA A ANALIZAR

La función principal del husillo de un torno CNC es permitir el movimiento rotativo controlado de la pieza de trabajo y la herramienta de corte. Esto posibilita la realización de operaciones de torneado, taladrado, roscado y otros procesos de mecanizado. El husillo gira la pieza de trabajo y la herramienta de corte se mueve de manera precisa a lo largo de la superficie de la pieza para darle la forma y las dimensiones deseadas.

A continuación, se muestran las partes o componentes principales de un husillo:

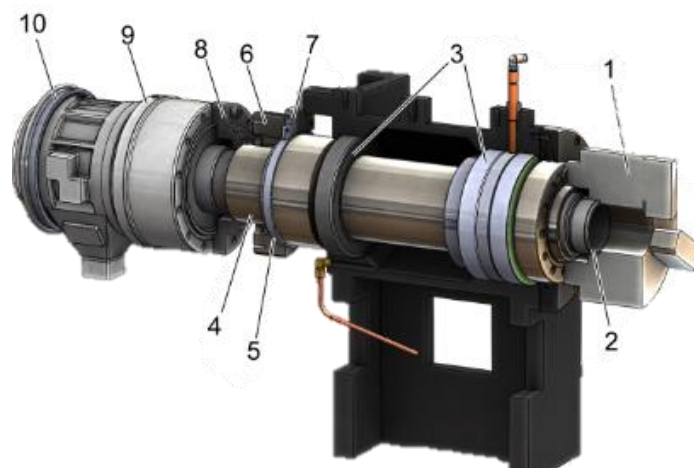


Ilustración 13: "esquema del husillo de trabajo del torno CNC crítico"

(Fuente: manual técnico de la máquina)

1. Plato de garras o pinza
2. Tubo de tracción
3. Cojinetes
4. Eje del husillo
5. Anillo codificador sin contacto
6. Piñón
7. Cabezal de lectura del codificador sin contacto
8. Adaptador
9. Actuador hidráulico
10. Colector del refrigerante

### **FÓRMULAS PARA CALCULAR EL RIESGO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO**

#### **Riesgo cuantitativo:**

$$Frec \times (MTTR \times Imp. Prod + Costo directo falla)$$

Donde:

**Frec:** frecuencia de fallas en un año

**MTTR:** tiempo promedio para reparar una falla

**Imp. Prod:** Impacto en la producción (costo de ineficiencia por hora)

#### **Riesgo cualitativo:**

$$Frecuencia de fallas \times Consecuencia$$

Donde la consecuencia está dada por la siguiente tabla:

<b>Consecuencia</b>	Escala	Estado
	1	Muy bajo
	2	Bajo
	3	Intermedio
	4	Alto

Ilustración 14: "Tabla de consecuencias para los modos de fallo"

(Fuente: elaboración propia)

## **DIFERENCIA ENTRE CALCULAR EL RIESGO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO EN MANTENIMIENTO**

En el mantenimiento, la evaluación del riesgo es un proceso crucial para garantizar la fiabilidad y el buen funcionamiento de los equipos. La evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante dos enfoques principales: el cálculo del riesgo cuantitativo y el cálculo del riesgo cualitativo. Cada uno de estos enfoques tiene características distintas y proporciona diferentes tipos de información para la toma de decisiones.

**Riesgo Cuantitativo:** El riesgo cuantitativo se basa en la medición numérica y estadística para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento de riesgo y su impacto potencial. Este enfoque utiliza datos históricos, métricas específicas y modelos estadísticos para calcular valores precisos que reflejan la magnitud del riesgo. Los parámetros típicos del riesgo cuantitativo incluyen la frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio para reparar (MTTR), y el costo asociado con las reparaciones. La principal ventaja del riesgo cuantitativo es que proporciona una base objetiva para evaluar y comparar riesgos, permitiendo una planificación y asignación de recursos más precisa y fundamentada.

**Riesgo Cualitativo:** El riesgo cualitativo, por otro lado, se basa en la evaluación subjetiva y descriptiva de los riesgos, utilizando juicios expertos y análisis de escenarios. Este enfoque se centra en la identificación y descripción de los riesgos en términos de su naturaleza, causas y efectos potenciales, sin recurrir a medidas numéricas precisas. Herramientas comunes en el análisis cualitativo incluyen matrices de riesgo, análisis de causa raíz y evaluaciones de impacto basadas en la experiencia y el conocimiento técnico. El riesgo cualitativo es particularmente útil cuando los datos numéricos son limitados o cuando se necesita una evaluación inicial para priorizar los riesgos antes de aplicar un análisis cuantitativo más detallado.

## **ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EFECTOS Y CRITICIDAD**

### **Sistema/Subsistema:**

Subsistema de husillo de trabajo

### **Funciones Primarias:**

**Rotación de la pieza de trabajo:** La función principal del husillo es proporcionar un movimiento rotativo a la pieza de trabajo. Esto permite la realización de operaciones de torneado y fresado con precisión.

**Sujeción de la pieza de trabajo:** El husillo debe sujetar la pieza de trabajo de manera segura para evitar vibraciones, deslizamientos o cualquier movimiento no deseado durante el proceso de mecanizado. La seguridad y la estabilidad son esenciales.

**Transmisión de potencia:** El husillo debe transmitir la potencia del motor a la pieza de trabajo y, en algunos casos, a la herramienta de corte. La eficiencia en la transmisión es crítica para un mecanizado efectivo.

### **Funciones secundarias:**

**Sistema de refrigeración y lubricación:** El husillo cuenta con sistemas internos de refrigeración y lubricación que garantizan que las temperaturas sean adecuadas y que los componentes internos estén adecuadamente lubricados durante el mecanizado. Esto contribuye a la prolongación de la vida útil del husillo y a un rendimiento más consistente.

**Sistemas de medición y retroalimentación:** El husillo del torno CNC está equipado con sensores de medición que permiten verificar las dimensiones de la pieza de trabajo en tiempo real o calibrar la herramienta de corte. Esta retroalimentación es esencial para asegurar que las piezas se fabriquen con precisión.

**Sistema de freno:** el husillo incorpora un sistema de freno para detener rápidamente la rotación al finalizar una operación de mecanizado. Esto contribuye a la seguridad y facilita los cambios de herramientas.

**Sistema de desprendimiento de virutas:** En operaciones de mecanizado, las virutas metálicas se generan como subproducto. El husillo incluye un sistema para ayudar a desalojar y gestionar eficientemente las virutas, lo que evita obstrucciones y mejora la calidad de la superficie de la pieza.

**Interfaz de usuario y control:** el torno cuenta con una pantalla táctil que permite a los operadores programar y controlar las operaciones del husillo de manera eficiente.

### **descripción de la función requerida del subsistema:**

mantener la sujeción de la pieza de trabajo con mordazas de tipo hidráulica con un torque máximo de 500[Nm], con una velocidad de rotación mínima de 20 [RMP] y una máxima de 5000 [RPM], con una potencia máxima de 378[kW] y un par de torque de 10.300[Nm]

**FALLAS FUNCIONALES, MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD:**

Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto Falla (SHA:seguridad higiene y ambiente)	FREC FALLAS	MTTR (horas)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	CONSECUENCIA	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO
La pieza de trabajo se suelta ,la mordaza tiene variaciones en el aprete al mometo de trabajar	Mordazas con desgaste	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): desbalanceo de la pieza de trabajo,incorformidad en las tolerancias	3	3	\$ 100.000	\$ 85.000	1	\$ 1.155.000	3
	Fuga de liquido hidraulico en el sistema de aprete	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas):perdida de potencia y eficiencia,aumento del desgaste	2	5	\$ 100.000	\$ 40.000	1	\$ 1.080.000	2
La velocidad de rotacion no llega ni a las 20 [RPM] ni a las 5000[RPM]	Rodamiento axiales con desgaste	Evidente: Sí Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): vibraciones,desbalanceo,malos acabados superficiales	3	6	\$ 100.000	\$ 300.000	4	\$ 2.700.000	12
	Fugas en el motor hidraulico	Evidente: Sí Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Baja de presión, pérdida de eficiencia	1	5	\$ 100.000	\$ 75.000	2	\$ 575.000	2
La potencia del husillo es inferior a la Nominal 300[Kw]	Piñon del husillo desgastado	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): alta temperatura,vibraciones,cavitacion	2	2	\$ 100.000	\$ 200.000	2	\$ 800.000	4
	Motor sobrecargado	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Vibración ,ruidos molestos,temperatura elevada	2	5	\$ 100.000	\$ 100.000	3	\$ 1.200.000	6
El husillo entrega un toque por debajo del valor nominal 8000 [Nm]	Aire en el sistema	Evidente: Sí Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Baja de presión, cavitacion,sobrecalentamiento,red uccion de la eficiencia	2	4	\$ 100.000	\$ 120.000	2	\$ 1.040.000	4
	Valvula de control desgastada	Evidente: Sí Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): mayor consumo energetico,fugas de fluido,dafio a otros componentes	2	4	\$ 100.000	\$ 150.000	2	\$ 1.100.000	4
								<b>\$ 9.650.000</b>	

Ilustración 4 : “Análisis de modos de falla efectos y criticidad “

(fuente: elaboración propia)

En la tabla expuesta anteriormente tenemos el análisis de modos de falla efectos y su criticidad para el subsistema del tono CNC que en este caso es el husillo de trabajo. Como podemos ver tenemos 4 fallas funcionales donde la segunda es una falla parcial y la primera tercera y cuarta son totales, que quiere decir esto que cuando son parciales no se pierde del todo la función requerida del equipo en cambio cuando es una falla total esta si hace que el equipo vea interrumpida su función requerida.

Por otra parte, por cada falla funcional tenemos dos modos de falla, al costado derecho de los modos de falla tenemos los efectos operacionales que genera cada uno de estos, como también hace ver si la falla es evidente o no para los operarios y también si afecta a la seguridad higiene y ambiente.

Luego tenemos una serie de factores dentro de la planilla con los cuales podremos calcular el riesgo de cada uno de estos modos de fallo tanto de manera cualitativa como cuantitativa, estos factores son la frecuencia de fallas (FF),el tempo promedio para reparar(MTTR),el impacto en la producción, o sea cuanto se pierde en dinero por hora que la maquina deja de producir, los costos

directos por falla, llámese gastos mano de obra insumos etc. Cabe mencionar que este dato es bastante poco asertivo ya que solo es una estimación por parte de los operarios experimentados de cuando es lo que se invierte en dicho modo de fallo y finalmente tenemos las consecuencias que están dadas por la tabla vista anteriormente, con esto se puede calcular un riesgo cualitativo y cuantitativo. Como pueden observar se pintaron de colores 3 modos de fallo, uno representa el modo de fallo con mayor riesgo, otro con un riesgo mediano, y el otro con el riesgo más bajo

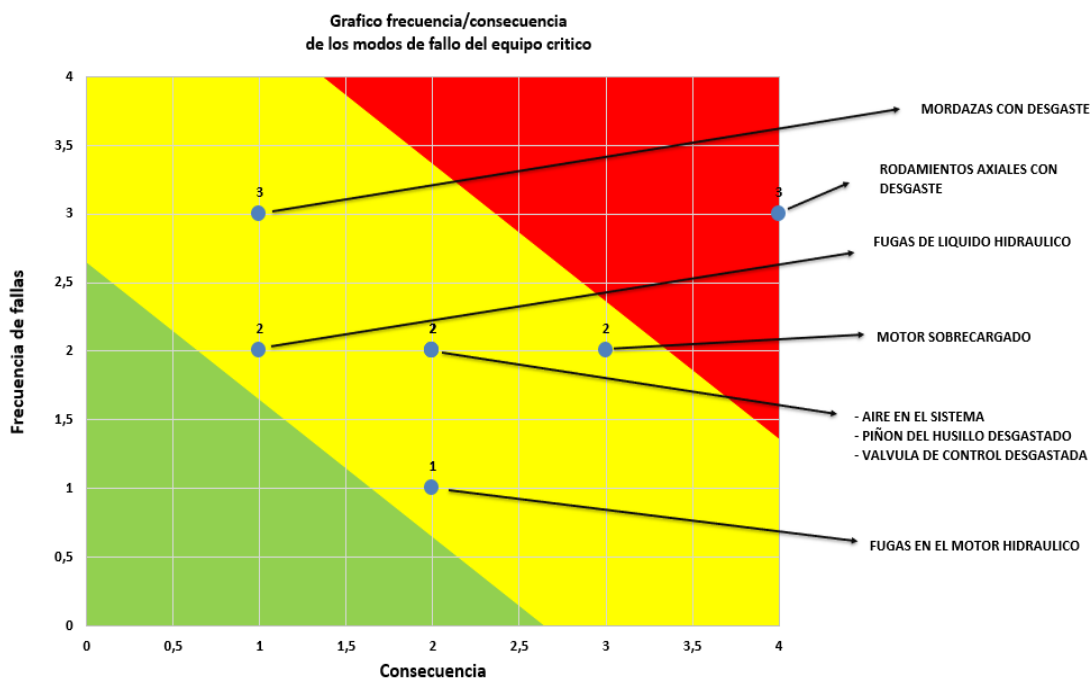


Ilustración 16: "Matriz de criticidad para los modos de falla"

El

(Fuente: elaboración propia)

gráfico presentado anteriormente representa una matriz de riesgo, en la cual el eje Y indica la frecuencia de fallos y el eje X muestra las consecuencias de dichos fallos. Esta representación es fundamental para la identificación y gestión de riesgos en un sistema.

En la zona roja de la matriz se ubica el modo de fallo crítico, que en este caso corresponde a los rodamientos axiales que presentan desgaste. Este desgaste puede resultar en fallos catastróficos si no se aborda de manera oportuna. Además, se observa el modo de fallo del motor hidráulico sobrecargado. Aunque este fallo también es significativo, su tendencia no es tan crítica como la de los rodamientos.

La comprensión de estos modos de fallo es esencial para implementar estrategias efectivas de mantenimiento preventivo y correctivo. La identificación temprana de estos riesgos permite planificar intervenciones antes de que se produzcan fallos mayores, minimizando así el tiempo de inactividad y los costos asociados a reparaciones.

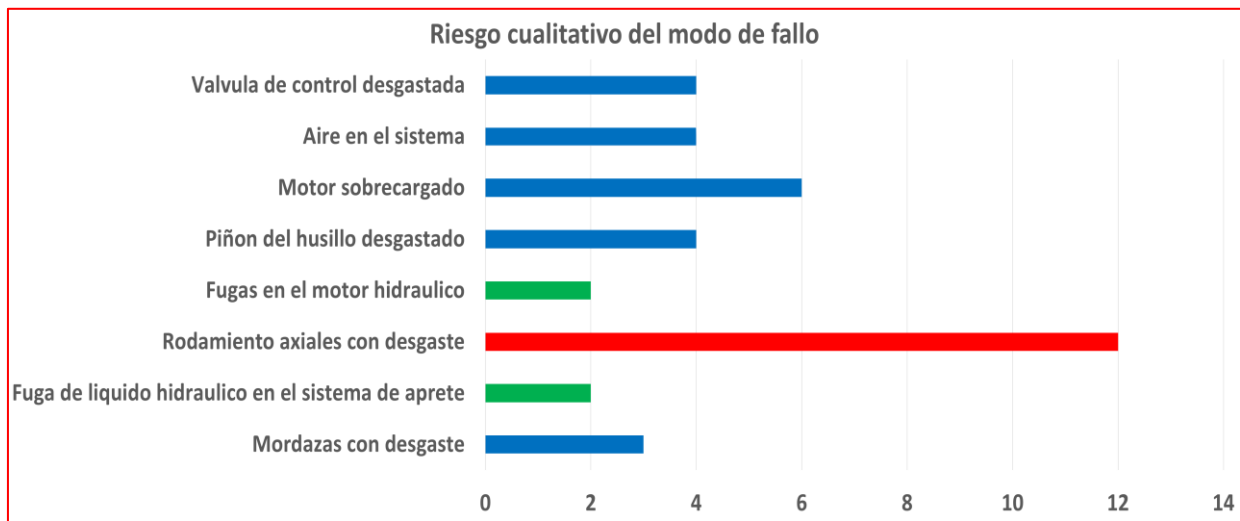


Ilustración 17: "Riesgo cualitativo del modo de falla"

(Fuente: elaboración propia a partir del AMEFC)

Este gráfico de barras proporciona una representación visual del riesgo cualitativo asociado a los modos de falla. En términos simples, ilustra la relación entre la frecuencia de fallas y sus consecuencias, lo que nos permite obtener un valor cualitativo para cada componente analizado.

Se puede observar claramente que los rodamientos axiales del torno presentan el mayor nivel de riesgo, debido a las graves consecuencias que sus fallas podrían acarrear. Este hallazgo subraya la importancia de realizar un seguimiento riguroso de este componente, ya que el desgaste o la falla de los rodamientos pueden resultar en paradas no planificadas y costosas reparaciones.

Además, es crucial implementar un programa de mantenimiento preventivo enfocado en estos rodamientos, asegurando que se realicen inspecciones regulares y se tomen medidas correctivas oportunas. La atención a este aspecto no solo optimiza el rendimiento del torno, sino que también mejora la seguridad operativa al minimizar el riesgo de accidentes relacionados con fallas mecánicas.

Por lo tanto, la utilización de este gráfico no solo facilita la identificación de los componentes más críticos, sino que también sirve como herramienta para la toma de decisiones informadas en la gestión de mantenimiento. Es recomendable que el personal encargado esté debidamente capacitado en la interpretación de estos datos, lo que contribuirá a una cultura de prevención y eficiencia en el entorno laboral.

Este gráfico de líneas nos muestra el riesgo cuantitativo del modo de falla ,para obtener este valor se tomaron en consideracion los atributos que se mencionan a continuacion: Frecuencia de fallas,tiempo promedio para reparar(MTTR),impacto en la produccion y costos directos por falla

El grafico es representado por dos ejes;en el eje Y se ubica el riesgo cuantitativo expresado en pesos al año,y en el eje X estan los diferentes modos de fallo del husillo de trabajo

Como se puede apreciar los rodamientos axiales son los que presentan un mayor riesgo cuantitativo,por otro lado las fugas en el motor hidraulico representan el menor riesgo cuantitativo

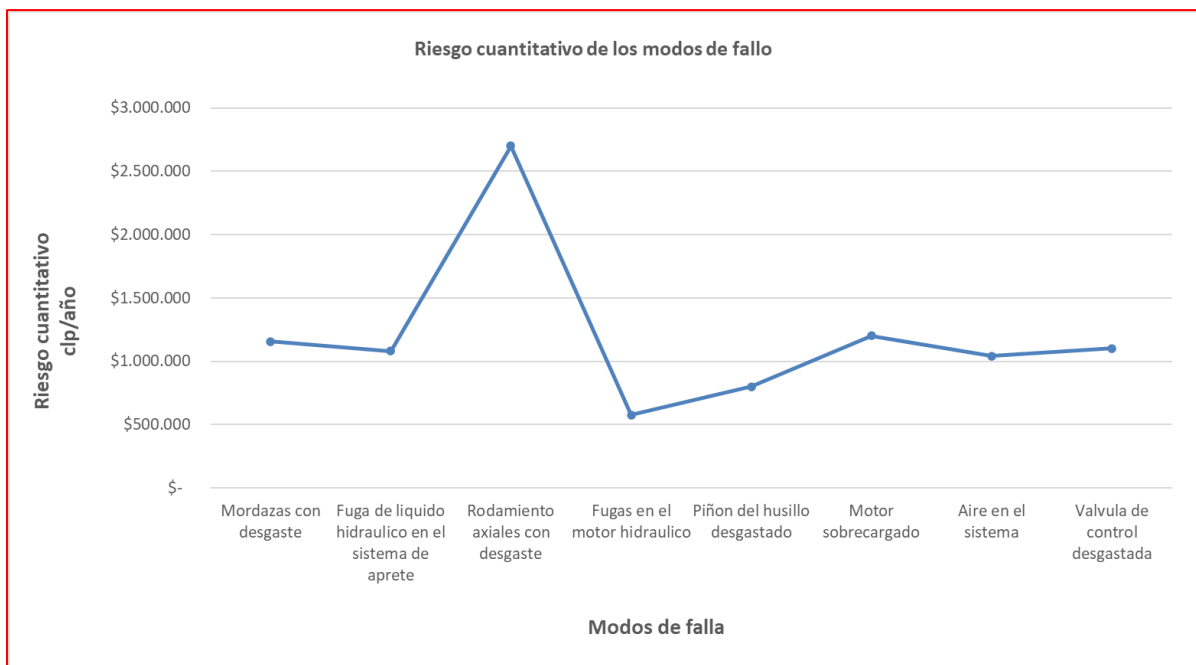


Ilustración 18:"Riesgo cuantitativo del modo de falla"

(Fuente: elaboración propia a partir del AMEFC)

## NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO

El número de prioridad de riesgo (NPR) es una herramienta de gestión para evaluar y priorizar los riesgos asociados con el funcionamiento de equipos, instalaciones o sistemas. El NPR combina tres aspectos clave:

**Frecuencia:** Se refiere a la probabilidad o frecuencia con la que puede ocurrir un evento no deseado, como una falla en el equipo o un accidente. Esta frecuencia puede basarse en datos históricos, análisis de fallos previos o juicio de expertos.

**Gravedad:** Representa la magnitud del impacto que tendría el evento no deseado en términos de seguridad, salud, medio ambiente, producción u otros aspectos relevantes para la operación. La gravedad se evalúa generalmente en una escala numérica o mediante criterios predefinidos.

**Detectabilidad:** Indica la capacidad de detectar o prevenir el evento no deseado antes de que ocurra, o la efectividad de los sistemas de detección y mitigación disponibles. Una alta detectabilidad implica que el riesgo es más fácil de controlar o mitigar.

La fórmula básica para calcular el NPR es:

$$NPR = Frecuencia \times Gravedad \times Detectabilidad$$

Cada uno de estos factores se evalúa por separado y luego se multiplican para obtener el NPR total. Cuanto mayor sea el NPR, mayor será la prioridad del riesgo y más atención requerirá en términos de acciones de mitigación o prevención.

El NPR se utiliza en mantenimiento para priorizar los riesgos y asignar recursos de manera eficiente. Al identificar y abordar primero los riesgos con mayores NPR, se puede mejorar la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia de los sistemas y equipos industriales. Además, el NPR también puede ayudar a establecer estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, así como a guiar la asignación de presupuestos y recursos en función de las necesidades de gestión de riesgos.

Los parámetros de frecuencia de fallas, gravedad y detectabilidad son fundamentales para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) en un análisis de modos de falla y efectos (FMEA). Aquí explico de dónde se pueden obtener estos parámetros:

1. **Frecuencia de Fallas:** Este parámetro se refiere a la probabilidad de que ocurra una falla.

Se puede obtener de:

- Historial de datos de fallas de productos similares.
- Experiencias pasadas en el proceso.
- Estimaciones basadas en el juicio experto o análisis de datos estadísticos.

2. **Gravedad:** Representa el impacto de la falla en el sistema o en el usuario. Para determinar la gravedad, puedes:

- Evaluar las consecuencias de la falla en términos de seguridad, costos y calidad.
- Consultar normativas o estándares que establezcan criterios de gravedad.
- Utilizar el juicio de expertos que conozcan el proceso o producto.

3. **Detectabilidad:** Este parámetro mide la probabilidad de detectar la falla antes de que cause un efecto. Puedes obtenerlo a través de:

- Análisis de los métodos de control y monitoreo existentes.
- Evaluaciones de pruebas y mantenimientos realizados.
- Consultas a expertos sobre la efectividad de las técnicas de detección.

A continuación se muestra un ejemplo de serie de ponderadores de frecuencia gravedad y detectabilidad

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

Ilustración 19:"Ejemplo ponderadores frecuencia de fallas NPR"

(Fuente: artículo Análisis modal de fallos y efectos. AMFE-instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo España)

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

Ilustración 20:"Ejemplo ponderadores gravedad de fallas NPR"

(Fuente: artículo Análisis modal de fallos y efectos. AMFE-instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo España)

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

Ilustración 21:"Ejemplo ponderadores detectabilidad de falla"

(Fuente: artículo Análisis modal de fallos y efectos. AMFE-instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo España)

A continuación se presentan las tablas con los ponderadores que se utilizaron para la evaluación del NPR bajo el contexto de máquinas CNC para el subsistema que se está analizando que en este caso es el husillo de trabajo de uno de los tornos de la maestría. Cada parámetro consta con una escala de 1 a 5 donde 1 es muy alto y 5 muy bajo, excepto en la detectabilidad donde 1 la detectabilidad es muy buena y 5 muy mala, cabe mencionar que la información proporcionada para la evaluación del NPR fue hecha en conjunto con operarios y supervisores de la maestría

Frecuencia	Criterio	Valor
5	Las fallas son extremadamente raras, presentándose una vez al año o menos, lo que indica un sistema robusto y confiable, con un mantenimiento efectivo.	1
4	Las fallas son poco frecuentes, sucediendo una vez cada tres meses, lo que permite un manejo proactivo del mantenimiento y minimiza el impacto en la producción.	2--3
3	Las fallas se presentan una vez al mes, lo que permite planificar el mantenimiento, pero aún representa un riesgo notable para la continuidad del proceso.	4--5
2	Las fallas ocurren varias veces a la semana, requiriendo intervenciones regulares y afectando la eficiencia operativa.	6--8
1	Las fallas se presentan todos los días, lo que genera interrupciones frecuentes en la producción y aumenta significativamente los costos de mantenimiento.	9--10

Ilustración 22: "Ponderadores frecuencia de falla para el equipo crítico"

(Fuente: elaboración propia a partir de reuniones con los actores involucrados de la empresa)

Gravedad	Criterio	Valor
5	La falla no tiene consecuencias notables ni en la operación de la máquina ni en la calidad del producto. Este tipo de modo de falla es insignificante y no requiere atención inmediata.	1
4	El modo de falla tiene un impacto mínimo en la operación de la máquina, requiriendo reparaciones menores que no interrumpen significativamente la producción y son fácilmente gestionables.	2--3
3	La falla afecta de manera temporal la operación de la máquina, pero se puede corregir rápidamente sin un impacto significativo en la producción. Sin embargo, puede generar molestias en el proceso de trabajo.	4--6
2	La falla provoca un impacto severo en la calidad del producto, generando desperdicio y la necesidad de reprocesar o desechar piezas, lo que conlleva costos considerables y afecta la reputación de la empresa.	7--8
1	El modo de falla resulta en la parada total de la máquina, causando una interrupción significativa en la producción, pérdidas económicas elevadas y potenciales riesgos para la seguridad de los operarios.	9--10

Ilustración 23: "Ponderadores gravedad de falla para el equipo crítico"

(Fuente: elaboración propia a partir de reuniones con los actores involucrados de la empresa)

Detectabilidad	Criterio	Valor
1	El modo de falla es fácilmente detectable a través de sistemas de monitoreo automático o alertas en tiempo real, lo que permite una intervención rápida y efectiva antes de que cause daños significativos.	1
2	La falla puede ser detectada mediante inspecciones programadas o análisis de datos, lo que permite tomar medidas correctivas en un plazo razonable, minimizando el impacto en la producción.	2--3
3	La falla es detectable, pero solo a través de un monitoreo frecuente o revisiones manuales, lo que puede generar retrasos en la identificación y corrección del problema.	4--6
4	La identificación de la falla es complicada y depende de condiciones específicas o señales poco claras, lo que puede llevar a que la falla se pase por alto durante un período prolongado.	7--8
5	El modo de falla no es detectable con los métodos actuales, lo que significa que puede ocurrir sin previo aviso y causar daños significativos antes de ser identificado.	9--10

Ilustración 24: "Ponderadores detectabilidad de falla para el equipo crítico"

(Fuente: elaboración propia a partir de reuniones con los actores involucrados de la empresa)

FMECA: EQUIPO						MODELO:CKE6150Z-1500				
PROVEEDOR AFECTADO:Manufacturas tecniplastic		DESCRIPCION	NOMBRE DEL EQUIPO:Torno CNC			SITUACION ACTUAL				
DESCRIPCION DEL EQUIPO	FUNCION DEL EQUIPO	ITEM MF	MODO DE FALLA	EFEKTOS DE FALLA	CAUSAS DE LA FALLA	ACCIONES ACTUALES (FF)AL AÑO	F	G	D	NPR
Un torno CNC es una máquina herramienta que utiliza un sistema de control numérico computarizado, para automatizar y controlar el proceso de mecanizado de piezas mecanicas de ingenieria	mantener la sujecion de la pieza de trabajo con mordazas de tipo hidraulica con un torque maximo de 500[Nm],con una velocidad de rotacion minima de 20 [RMP] y una maxima de 5000 [RPM],con una potencia maxima de 378[kw] y un par de torque de 10.300[Nm]	Husillo de trabajo	Rodamiento axiales con desgaste	vibraciones,desbalanceo, malos acabados superficiales	Lubricacion inadecuada,contaminacion,so bre carga	3	4	7	4	112
			Fugas en el motor hidraulico	Baja de presión, perdida de eficiencia	Sello dañados o desgastados,sobrepresion en esl sistema,daño mecanico	2	2	4	2	16
			Piñon del husillo desgastado	alta temperatura,vibraciones,c avitacion	Lubricacion inadecuada,contaminacion,so bre carga	3	2	7	4	56
			Motor sobrecargado	Vibración,ruidos molestos,temperatura elevada	Mecanizado de materiales duros ,velocidad de corte inadecuada,falta de refrigeracion	1	2	7	5	70
			Aire en el sistema	Baja de presión, cavitacion,sobrecalentamiento,reduccion de la eficiencia	Fugas en las conexiones hidraulicas,bajo nivel de aceite hidraulico ,cavitacion en la bomba	2	2	5	6	60
			Valvula de control desgastada	mayor consumo energetico,fugas de fluido,daño a otros componentes	uso continuo,presencia de agentes contaminantes,flujo de fluido excesivo	2	2	6	3	36

Ilustración 25:"AMEF + NPR (fuente: elaboración propia)

Al analizar el FMECA del husillo de trabajo del torno CNC, se puede concluir que el modo de falla más crítico es el desgaste de los rodamientos axiales. Su alto NPR indica un riesgo significativo para la operación del torno, ya que podría provocar una disminución en la precisión del mecanizado y un aumento en el desgaste del husillo, lo que podría resultar en tiempos de inactividad costosos y reparaciones extensas.

El siguiente en la lista es el modo de fallo del motor sobrecargado, que se clasificó como medianamente crítico. Aunque no es tan severo como el desgaste de los rodamientos, el NPR aún señala la importancia de abordar este riesgo. Un motor sobrecargado podría conducir a un aumento en la temperatura de funcionamiento, una reducción en la vida útil del motor y posibles averías.

Por último, el modo de falla de fugas en el motor hidráulico se considera el menos crítico según el NPR. Aunque las fugas pueden causar problemas operativos y de seguridad, su impacto es menor en comparación con los otros modos de falla identificados. Sin embargo, no se deben pasar por alto, ya que pueden provocar una pérdida de presión hidráulica y afectar la capacidad de funcionamiento del torno.

Basándome en este análisis, recomendaría priorizar la atención y los recursos en la mitigación del desgaste de los rodamientos axiales, seguido por el motor sobrecargado. Se deben implementar medidas preventivas, como inspecciones regulares, lubricación adecuada y monitorización de las condiciones de funcionamiento, para minimizar el riesgo de falla y garantizar la fiabilidad y la eficiencia del torno CNC.

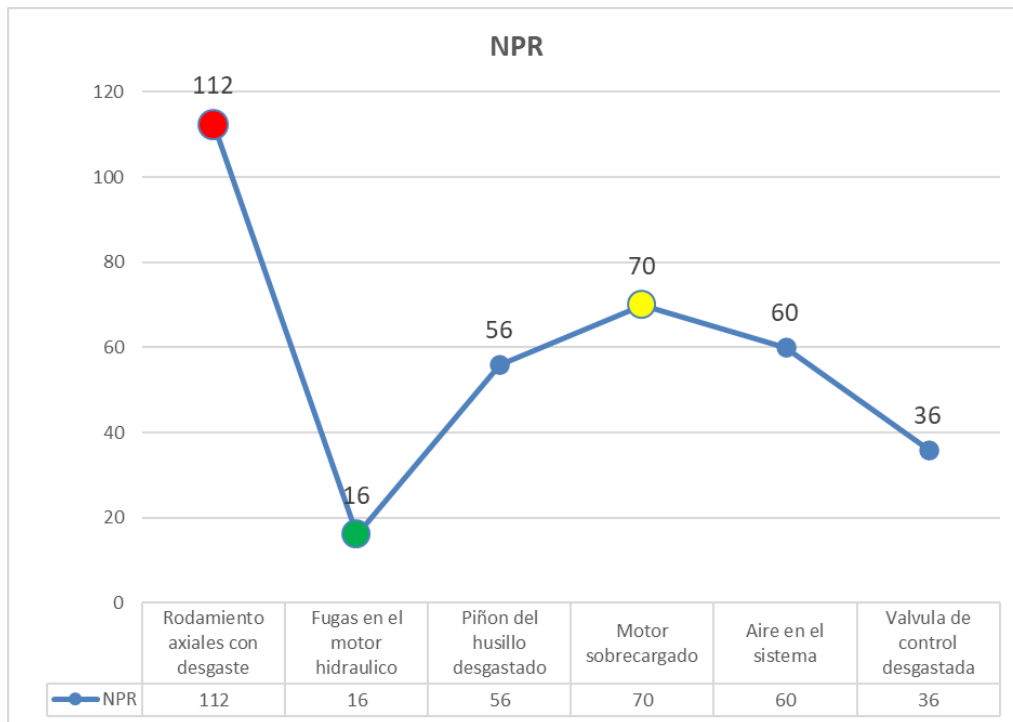


Ilustración 26: "Gráfico NPR" (fuente: elaboración propia)

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Lo que se ve más arriba es el análisis de modos de falla sus efectos y criticidad para el equipo más crítico de la mastranza ya que como se analizó en el primer capítulo se llegó a la deducción que uno del torno CNC de la mastranza era el más crítico producto de que fue la primera máquina en llegar a la mastranza que lleva aproximadamente un tiempo de operación de 15 años.

Con esto se procedió analizar uno de los subsistemas de dicha máquina, en este caso el subsistema del husillo de trabajo. Primero se define la función requerida del subsistema o sea las especificaciones que necesita el usuario u operario o persona interesada para llevar a cabo las tareas correspondientes de dicho subsistema el rendimiento deseado que se espera, luego se procede a buscar las distintas fallas funcionales que básicamente son aquellas fallas que podrían hacer que el subsistema perdiera su función requerida de manera parcial o total, posteriormente se procede a buscar distintos modos de fallo para cada una de las fallas funcionales, los modos de fallo son esenciales al hacer este tipo de análisis ya estos son una parte crítica del proceso de gestión de riesgos en la ingeniería y la fabricación.

Ayuda a prevenir problemas, mejorar la calidad y la seguridad, y garantizar el cumplimiento normativo. Como paso siguiente analizamos los efectos de cada modo de falla, en donde en primera

instancia deducimos si la falla es evidente o no, luego vemos si la falla provoca algún efecto en la seguridad higiene y ambiente y finalmente definimos los efectos operacionales que podría causar aquel modo de falla o sintomatología presentada en el subsistema.

Ya habiendo definido todos estos parámetros del análisis podemos comenzar a cuantificar y cualificar los resultados, para esto primero calculamos el riesgo cuantitativo que tomara como valores la frecuencia de fallas del modo de fallo, el tiempo medio para reparar cada falla (MTTR), el impacto en la producción por hora en que se detiene el sistema y los costos directos asociados a la falla, esto como resultado nos arroja un indicador monetario o en otras palabras un riesgo cuantitativo con el que podríamos determinar cuál de los modos de fallo es el que tiene mayores costos asociados en un año de operación. Otro dato que calculamos posterior al riesgo cuantitativo, este riesgo es calculado por la probabilidad de que un evento ocurra (frecuencia de fallas) multiplicado por una consecuencia, esta última está dada por una tabla vista al comienzo que tiene una ponderación de 1 a 4 en donde 1 es muy bajo y 4 es alto, con esto se logra determinar qué tan riesgoso es que aquel modo de fallo ocurra. Finalmente, acorde a los datos obtenidos pudimos sacar 3 tipos de gráficos, un gráfico de dispersión uno de barras y otro de torta, esto con el fin de que los datos sean visualmente más atractivos para el usuario que este analizando los resultados

**CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) Y EVALUACION DE COSTOS ASOCIADOS AI PLAN DE MANTENIMIENTO  
PROPUESTO Y ACTUAL.**

## **ARBOL DE DECISIÓN PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Los árboles de decisión que se presentaran a continuación son una herramienta que ayudan en la elección de las estrategias de mantenimiento que se deben aplicar a equipos o modos de fallo críticos. El propósito principal de este árbol de decisión RCM es determinar la estrategia de mantenimiento óptima para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, al tiempo que se controlan los costos y se cumplen los objetivos de seguridad. A continuación, se detallan puntos importantes que aborda este árbol y cuál es su contribución en el mantenimiento

**Optimización de estrategias de mantenimiento:** Un algoritmo de decisión en RCM permite evaluar múltiples opciones de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, y seleccionar la estrategia que mejor se adapte a las necesidades del equipo en cuestión.

**Minimización de costos:** Ayuda a minimizar los costos totales de mantenimiento al identificar la estrategia más eficiente en términos de recursos, tiempo y materiales necesarios para mantener la confiabilidad de los equipos.

**Aumento de la confiabilidad y disponibilidad:** Ayuda a garantizar que los equipos críticos estén disponibles cuando sea necesario, lo que reduce el riesgo de tiempos de inactividad no planificados y mejora la confiabilidad operativa.

**Enfoque en la seguridad:** Al considerar la seguridad en la evaluación de las estrategias de mantenimiento, se garantiza que las actividades de mantenimiento se realicen de manera segura y se minimizan los riesgos para el personal y la planta.

**Cumplimiento de regulaciones y estándares:** Un algoritmo de decisión en RCM también puede ayudar a garantizar el cumplimiento de regulaciones y estándares de la industria relacionados con la operación y el mantenimiento de equipos críticos.

**Mejora continua:** Al utilizar un enfoque basado en datos y análisis, un algoritmo de decisión en RCM fomenta la mejora continua en las estrategias de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del equipo.

### **Políticas de manejo de fallas**

Las razones para direccionar las políticas de manejo de fallas en esa secuencia se discuten en los siguientes párrafos.

#### **Tareas Basadas en Condición:**

Las tareas basadas en condición en mantenimiento son un enfoque utilizado en la gestión y cuidado de equipos, máquinas, edificios u otros activos para asegurarse de que funcionen de manera óptima y segura. Este enfoque se basa en la idea de que no es necesario hacer mantenimiento constante o periódico, sino que se deben realizar intervenciones solo cuando sea necesario, es decir, cuando una "condición" específica se cumple.

**Tareas de Desincorporación Programada y Restauración Programada:** las tareas de Desincorporación Programada se refieren a la planificación y ejecución de la retirada controlada y programada de activos o componentes antes de que fallen por completo. Por otro lado, las tareas de Restauración Programada se centran en la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento preventivo para mantener los activos en buen estado una vez que han sido reemplazados o restaurados. Estas prácticas ayudan a maximizar la vida útil de los activos y a evitar costosas reparaciones inesperadas.

**Detección de Fallas:** La Detección de Fallas en mantenimiento es un proceso fundamental en la gestión de activos, maquinaria y sistemas, diseñado para identificar y abordar problemas o defectos en una etapa temprana antes de que causen un fallo significativo o un mal funcionamiento. Esta práctica es crucial para mantener el rendimiento óptimo y la confiabilidad de los activos.

**Combinación de Tareas:** la Combinación de Tareas en mantenimiento es una estrategia que busca realizar varias tareas de mantenimiento al mismo tiempo, siempre que sea posible, para maximizar la eficiencia, minimizar el tiempo de inactividad y reducir costos. Esto se logra planificando cuidadosamente las tareas, agrupándolas en función de su similitud y coordinando los recursos necesarios para su ejecución simultánea.

Mantenimiento no programado

**Mantenimiento no programado:** El Mantenimiento no programado se refiere a la realización de reparaciones o tareas de mantenimiento en un activo, equipo o sistema de manera reactiva, es decir, cuando ocurren fallas o problemas imprevistos que requieren una acción inmediata para restaurar el funcionamiento normal. Este concepto es importante para entender cómo se gestionan las situaciones de emergencia en el mantenimiento de activos

**Rediseño:** El rediseño en mantenimiento se refiere a un proceso en el que una organización o empresa revisa y modifica sus prácticas y estrategias de mantenimiento existentes con el objetivo de mejorar la eficiencia, la efectividad y la rentabilidad de sus operaciones de mantenimiento. Esta práctica es esencial para garantizar que los activos, equipos y sistemas se mantengan en óptimas condiciones, minimizando el tiempo de inactividad, reduciendo costos innecesarios y maximizando la vida útil de los activos. El rediseño en mantenimiento puede aplicarse a una amplia variedad de industrias, desde la manufactura y la energía hasta la gestión de instalaciones y el transporte.

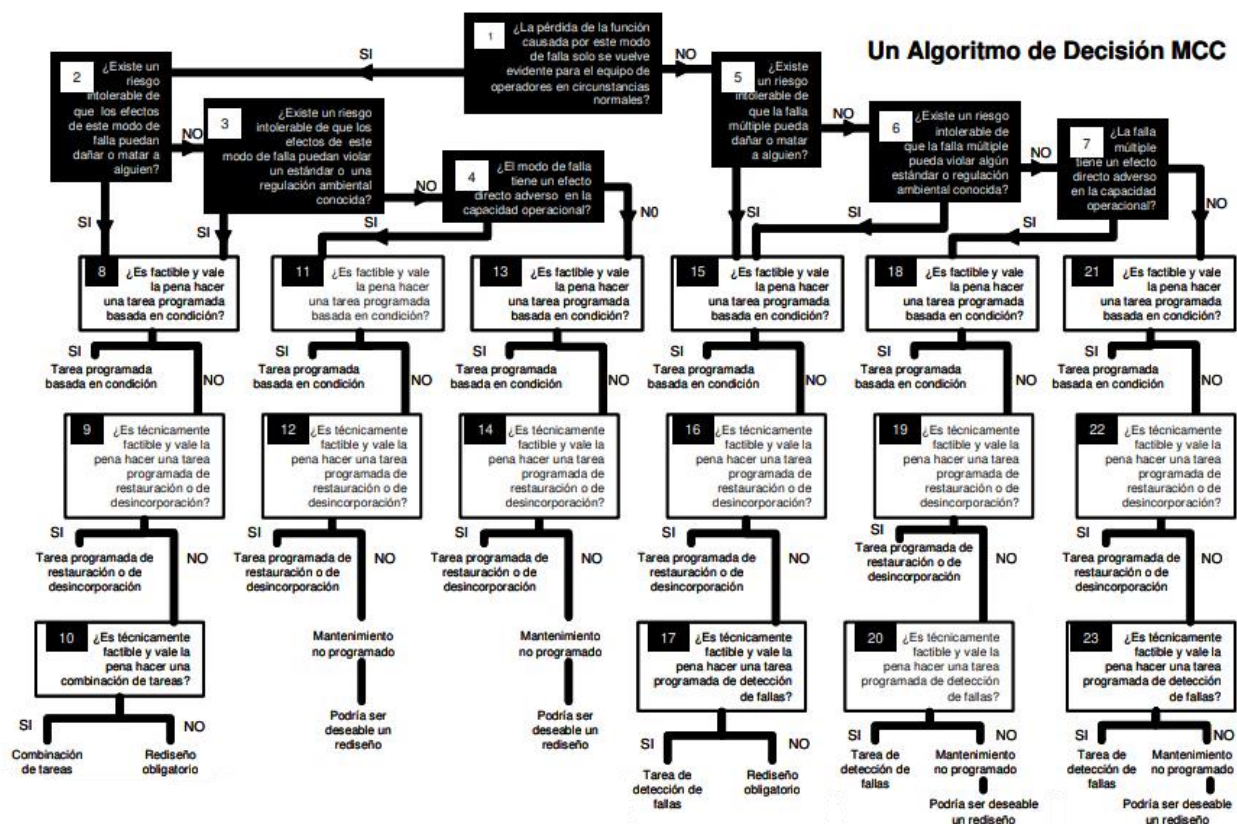


Ilustración 27: "Árbol de decisión RCM"

(Fuente: Norma SAE JA1012)

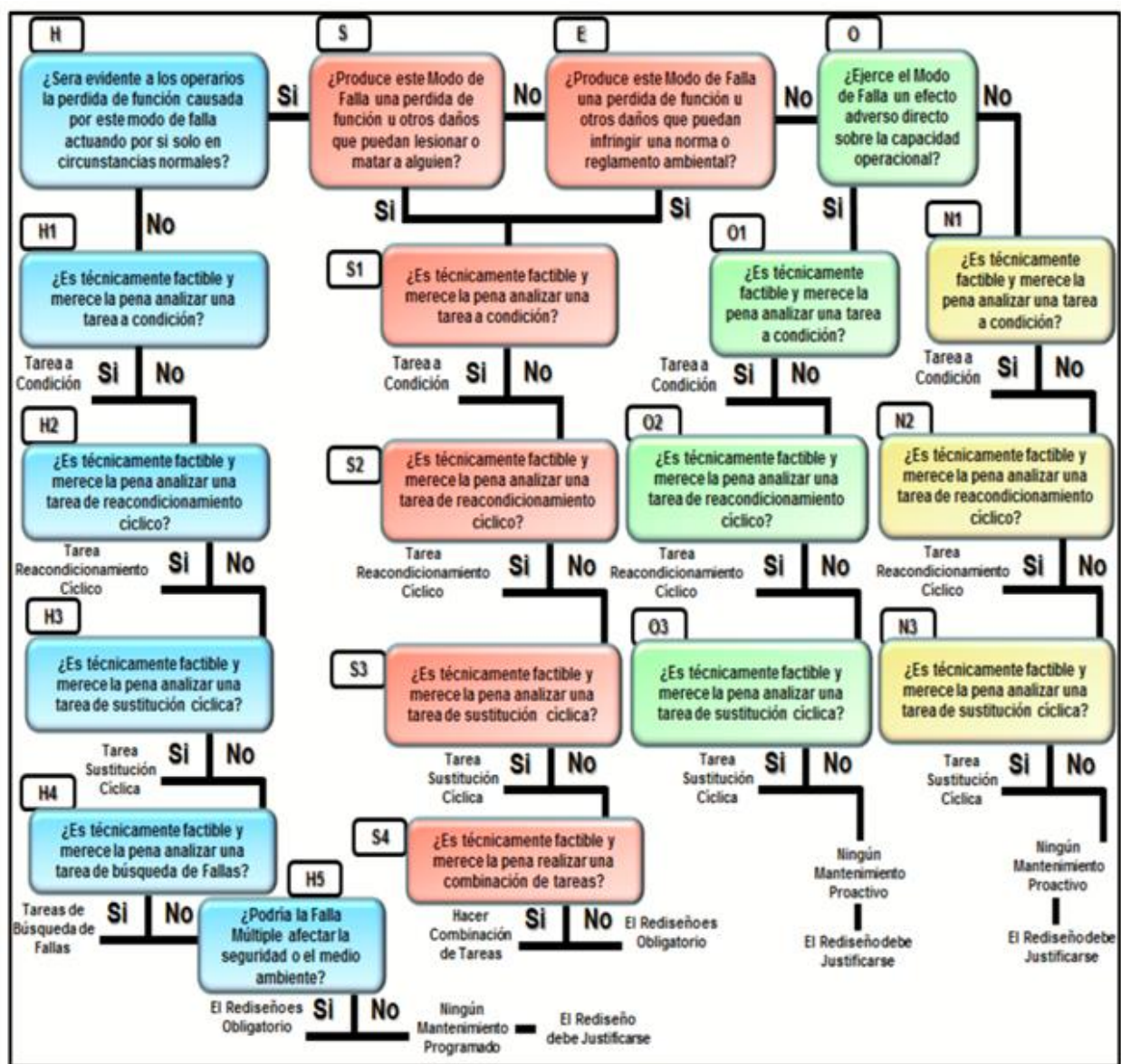


Ilustración 28: "Árbol de decisión RCM"

(Fuente: clases de ingeniería de mantenimiento)

## HOJA DE DECISIÓN RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM			SISTEMA/ACTIVO: Torno CNC										FACILITADOR: -		HOJA N°: 1			
Referencia de información			SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Husillo de trabajo										AUDITOR: Depto. Mantenimiento		FECHA: 20-11-2022			
Funcion requerida	Falla Funcional	Modo de falla	Evaluación de las políticas de manejo de fallas												Tareas propuestas	Frecuencia	A realizar por	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
mantener la sujecion de la pieza de trabajo con mordazas de tipo hidraulica con un torque maximo de 500[Nm],con una velocidad de rotacion minima de 20 [RMP] y una maxima de 5000 [RPM],con una potencia maxima de 378[kw] y un par de torque de 10.300[Nm]	La pieza de trabajo se suelta ,la mordaza tiene variaciones en el aprete al mometo de trabajar	Mordazas con desgaste	SI	SI						SI						Tarea programada basada en condicion	Solo cuando sea necesario o cuando se presente una condicion de desgaste	-
		Fuga de liquido hidraulico en el sistema de aprete	SI	NO	NO	SI								NO	SI	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de desincorporacion cada 3 meses	-
	La velocidad de rotacion no llega ni a las 20 [RPM] ni a las 5000[RPM]	Rodamiento axiales con desgaste	NO				SI									Tarea programada basada en condicion	Solo cuando sea necesario o cuando se presente una condicion de desgaste	-
		Fugas en el motor hidraulico	SI	NO	NO	SI								NO	SI	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de desincorporacion cada 6 meses	-
	La potencia del husillo es inferior a la Nominal 300[Kw]	Piñon del husillo desgastado	SI	NO	NO	SI								NO	SI	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de restauracion cada año	-
		Motor sobrecargado	NO				NO	NO	SI							Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de desincorporacion cada 1año (analizar si existe presencia de desgaste)	-
	El husillo entrega un toque por debajo del valor nominal 8000 [Nm]	Aire en el sistema	SI	NO	NO	SI								NO	SI	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de desincorporacion cada 6 meses	-
		Valvula de control desgastada	SI	SI							NO	SI				Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	tarea programada de desincorporacion cada 6 meses	-

Ilustración 29:"Hoja de decisión RCM"

(Fuente: elaboracion propia)

El propósito fundamental de esta tesis es explorar y proponer una metodología avanzada para la toma de decisiones en mantenimiento, centrándose en la aplicación de Árboles de Decisión en el marco de la Gestión del Mantenimiento Centrada en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés). La RCM es una metodología reconocida para identificar y priorizar las estrategias de mantenimiento en función de la criticidad y el rendimiento de los activos. La incorporación de Árboles de Decisión busca mejorar aún más la eficacia de esta metodología al introducir un enfoque más sistemático y basado en datos para la toma de decisiones.

La hoja de decisión RCM propuesta actúa como una herramienta analítica que utiliza la estructura jerárquica de los árboles de decisión para evaluar diferentes caminos de mantenimiento en función de condiciones operativas y variables de riesgo. El objetivo es mejorar la eficiencia operativa, minimizar los costos asociados al mantenimiento y maximizar la disponibilidad de los activos críticos. Esta aproximación ofrece una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes del entorno operativo, permitiendo una toma de decisiones más informada y rápida.

## PLAN DE MANTENIMIENTO

Plan de mantenimiento basado en RCM								
Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Numero de personas	HH -ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Mordazas con desgaste	Tarea programada basada en condicion	Cambio de mordazas por nuevas	3	1	3	\$8.000	\$ 100.000	\$ 372.000
Fuga de liquido hidraulico en el sistema de aprete	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	Revison del sistema de aprete para restaurar fugas en flexibles niples etc...	6	2	3	\$8.000	\$ 50.000	\$ 588.000
Rodamiento axiales con desgaste	Tarea programada basada en condicion	Cambio de rodamientos	2	3	20	\$10.000	\$ 800.000	\$ 2.800.000
Fugas en el motor hidraulico	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	Revison periodica del motor,ajustar parametros y verificar fugas para posibles restauraciones	3	2	2	\$8.000	\$ 35.000	\$ 201.000
Piñon del husillo desgastado	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	Desmontar el piñon,y remplazarlo por uno nuevo original o fabricado en maestranza	2	2	4	\$10.000	\$ 200.000	\$ 560.000
Motor sobrecargado	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	Revisar parametros de funcionamiento del motor y ajustarlos de ser necesario	4	2	5	\$10.000	\$ 90.000	\$ 760.000
Aire en el sistema	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	revisar el sistema de manera cautelosa y purgarlo de ser necesario para eliminar el aire	3	2	4	\$10.000	\$ 50.000	\$ 390.000
Valvula de control desgastada	Tarea programada de restauracion o de desincorporacion	Cambio de valvula	2	2	2	\$8.000	\$ 150.000	\$ 364.000
								<b>\$ 6.035.000</b>

Ilustración 30:"Plan de mantenimiento basado en RCM"

(Fuente: elaboración propia)

La sección "Modos de Fallo" de la tabla se enfoca en identificar las posibles condiciones que podrían afectar el rendimiento del husillo de trabajo del torno CNC. Estos modos de fallo se han discernido mediante un análisis FMEA visto en el capítulo 2 que considera factores como desgaste, fatiga y posibles eventos inesperados que podrían impactar la funcionalidad del husillo. Cada entrada en esta sección representa un escenario potencial que podría resultar en una disminución de la eficiencia del equipo.

En la columna "Actividad Propuesta de Mantenimiento según el Árbol de Decisión RCM," se detallan las estrategias y tareas específicas de mantenimiento diseñadas para mitigar los modos de fallo identificados. Estas actividades están directamente alineadas con el análisis del árbol de decisión RCM. Cada entrada proporciona una guía técnica detallada para las acciones de mantenimiento requeridas.

La inclusión de "Valores Cuantitativos" en la tabla agrega una dimensión financiera esencial al plan de mantenimiento. Estos valores cuantifican el presupuesto anual asignado para cada modo

de fallo, permitiendo una evaluación precisa de los recursos financieros necesarios para implementar las estrategias de mantenimiento propuestas. Este enfoque cuantitativo facilita la planificación financiera y asegura que los recursos estén asignados de manera efectiva y eficiente.

La interconexión estratégica entre modos de fallo, actividades de mantenimiento y aspectos financieros establece un enfoque estructurado para la gestión del husillo de trabajo del torno CNC. Cada componente de la tabla contribuye a una estrategia integral que no solo aborda los problemas de manera reactiva, sino que también previene proactivamente la degradación y garantiza la continuidad operativa del equipo.

A través de esta estructura detallada, el plan de mantenimiento basado en RCM para el husillo de trabajo del torno CNC busca optimizar la eficiencia operativa. Al identificar, prevenir y abordar modos de fallo de manera específica y cuantificada, el plan garantiza un funcionamiento continuo y confiable del equipo, al tiempo que respalda una gestión financiera efectiva.

### **COMPARACION DE DATOS IMPORTANTES**

<b>Comparacion de datos</b>	
<b>Plan de mantenimiento sin RCM anual</b>	\$ 9.650.000
<b>Plan de mantenimiento con RCM anual</b>	\$ 6.035.000
<b>% de optimizacion de recursos anual</b>	<b>37%</b>

Ilustración 31:"tabla comparativa de datos"

(fuente: elaboración propia)

Los resultados obtenidos fueron significativos mediante la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM, se logró reducir el presupuesto anual de mantenimiento del activo crítico en un 37%. Específicamente, se pasó de un presupuesto anual de \$ 9,650,000 con un plan de mantenimiento previo sin metodología RCM, a un presupuesto de \$ 6,035,000 con el nuevo plan de mantenimiento basado en RCM.

Esta reducción en el presupuesto de mantenimiento se logró gracias a la optimización de recursos, la eliminación de tareas redundantes y la implementación de estrategias de mantenimiento más eficientes y enfocadas. Además, el enfoque proactivo y basado en datos proporcionado por el RCM mejorara la confiabilidad y la disponibilidad del husillo del torno CNC, lo que llevara a una reducción sostenida de los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo.

A continuación, se hace una tabla comparativa entre el plan de mantenimiento sin RCM y con RCM

Sistema/Subsistema	Descripción de la Función requerida	Item mantenible	Falla Funcional	Modo de Falla	Plan de mantencion sin RCM al año	Plan de mantencion con RCM al año
Sub sistema de husillo de trabajo	mantener la sujecion de la pieza de trabajo con mordazas de tipo hidraulica con un torque maximo de 500[Nm], con una velocidad de rotacion minima de 20 [RPM] y una maxima de 5000 [RPM], con una potencia maxima de 378[kw] y un par de torque de 10.300[Nm]	Mordazas de trabajo	La pieza de trabajo se suelta ,la mordaza tiene variaciones en el aprete al mometo de trabajar	Mordazas con desgaste	\$ 1.155.000	\$ 372.000
				Fuga de liquido hidraulico en el sistema de aprete	\$ 1.080.000	\$ 588.000
		Husillo de trabajo	La velocidad de rotacion no llega ni a las 20 [RPM] ni a las 5000[RPM]	Rodamiento axiales con desgaste	\$ 2.700.000	\$ 2.800.000
				Fugas en el motor hidraulico	\$ 575.000	\$ 201.000
		Husillo de trabajo	La potencia del husillo es inferior a la Nominal 300[Kw]	Piñon del husillo desgastado	\$ 800.000	\$ 560.000
				Motor sobrecargado	\$ 1.200.000	\$ 760.000
		Husillo de trabajo	El husillo entrega un toque por debajo del valor nominal 8000 [Nm]	Aire en el sistema	\$ 1.040.000	\$ 390.000
				Valvula de control desgastada	\$ 1.100.000	\$ 364.000
					<b>\$ 9.650.000</b>	<b>\$ 6.035.000</b>

Ilustración 32:" tabla comparativa entre el plan de mantenimiento sin RCM y con RCM "

(Fuente: elaboración propia)

## CONCLUSIONES

La implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM para el husillo de trabajo del torno CNC ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva. La identificación proactiva de modos de fallo específicos, la formulación de estrategias de mantenimiento personalizadas y la asignación de recursos financieros han contribuido significativamente a mejorar la confiabilidad operativa del husillo. La evaluación continua y la retroalimentación constante durante la implementación han permitido ajustes dinámicos en las estrategias de mantenimiento, asegurando una adaptación efectiva a las condiciones cambiantes.

La aplicación de tecnologías de monitoreo continuo es una forma para la detección temprana de posibles problemas, lo puede llevar a una reducción significativa de tiempos de inactividad no planificados. La capacitación del personal en las nuevas prácticas de mantenimiento RCM fortalece la ejecución efectiva del plan, asegurando que las estrategias diseñadas se implementen adecuadamente.

Además, la evaluación financiera ha demostrado que la inversión en el plan de mantenimiento RCM es completamente justificada, ya que los costos asociados a reparaciones imprevistas y tiempos de inactividad han disminuido sustancialmente. Esto sugiere que el enfoque RCM no solo mejora la confiabilidad operativa, sino que también contribuye a la rentabilidad a largo plazo de la maestranza.

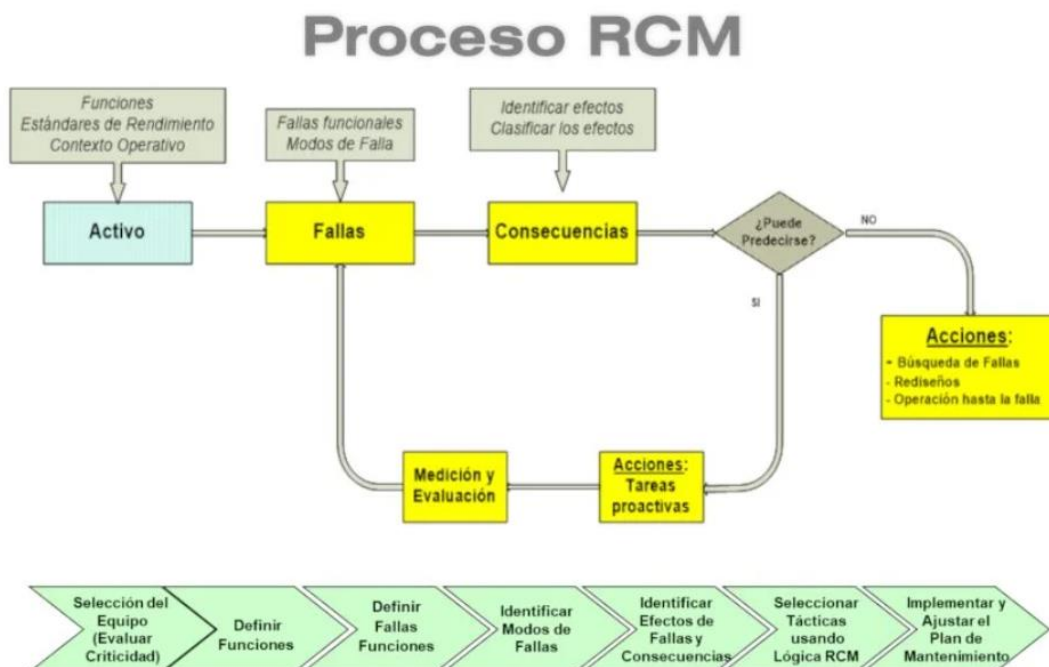


Ilustración 33:" 7 pasos para realizar un análisis RCM "

(Fuente: [angelmendizabal.com/mantenimiento/7-pasos-para-realizar-el-analisis-rcm](http://angelmendizabal.com/mantenimiento/7-pasos-para-realizar-el-analisis-rcm))

## **RECOMENDACIONES**

### **Continuidad del Monitoreo y Evaluación:**

Se recomienda mantener un sistema de monitoreo continuo y evaluación para asegurar que las estrategias de mantenimiento sigan siendo efectivas a medida que evolucionan las condiciones operativas y tecnológicas. La implementación de indicadores clave de rendimiento y revisiones periódicas garantizará la adaptación oportuna del plan.

### **Incorporación de Tecnologías Emergentes:**

La integración de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo remoto y análisis predictivo, puede fortalecer aún más el plan de mantenimiento. La exploración de nuevas herramientas tecnológicas permitirá una detección más precisa y temprana de posibles fallos, contribuyendo a una gestión más eficiente del husillo.

### **Programas de Capacitación Continua:**

La capacitación continua del personal en las metodologías RCM y en el uso de nuevas tecnologías es esencial para mantener la efectividad del plan. Programas de formación periódicos asegurarán que el personal esté actualizado y capacitado para enfrentar cualquier cambio en los procedimientos y tecnologías de mantenimiento.

### **Expansión del Enfoque RCM:**

Considerar la expansión del enfoque RCM a otros equipos críticos dentro de la maestranza. La efectividad demostrada en el husillo de trabajo del torno CNC sugiere que la aplicación de la metodología RCM puede generar beneficios similares en otros activos críticos.

## **BIBLIOGRAFIAS**

- Pistarelli, A. (2010). Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. Buenos Aires Viveros, P (2020).
- Norma SAE JA 1011-1012 (1999-2002). Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018).ISO 55002:2018 - Gestión de activos — Sistemas de gestión — Directrices para la aplicación de la norma ISO 55001.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018).ISO 55001:2018 - Gestión de activos — Sistemas de gestión — Requisitos.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2016).ISO 14224:2016 - Industrias petrolera, petroquímica y de gas natural — Recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos. taxonomía: clasificación de activos físicos en niveles taxonómicos
- NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE-ministerio del trabajo y asuntos sociales en España-instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo-año 2004

## ANEXO

El **Proceso Mantenimiento** puede representarse por medio del siguiente esquema:

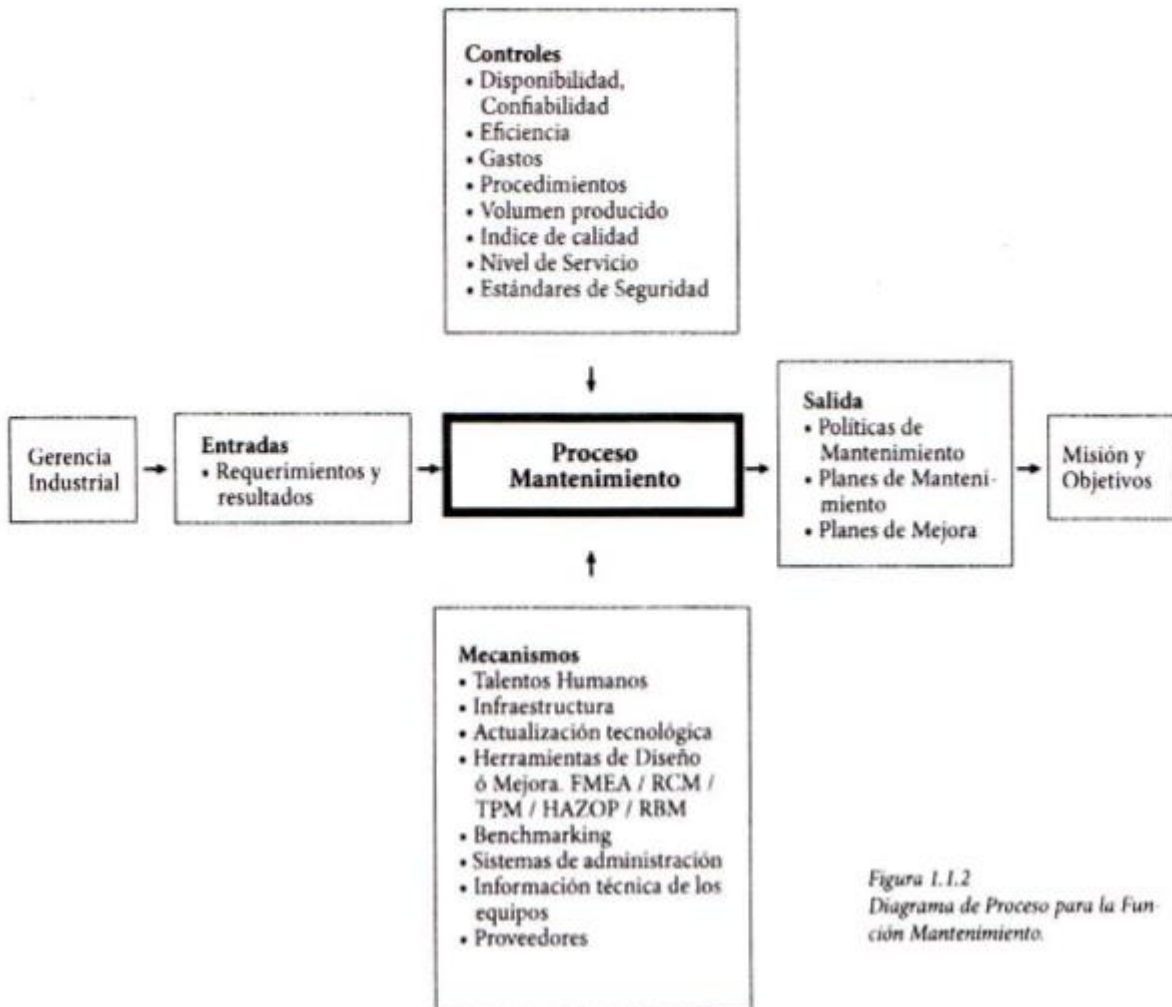


Figura 1.1.2  
Diagrama de Proceso para la Función Mantenimiento.

Ilustración 34: " Diagrama de proceso para la función mantenimiento "

(Fuente: Pistarelli, A. (2010). Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. Buenos Aires Viveros, P (2020).)