



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR
LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PROVEEDORA
INDUSTRIAL BAJO LA NORMA SAE JA1011”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

FRANCISCO ALEXANDER VILLACÍS MONAR

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR
LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PROVEEDORA
INDUSTRIAL BAJO LA NORMA SAE JA1011”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: FRANCISCO ALEXANDER VILLACÍS MONAR

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO Msc.

Riobamba - Ecuador

2023

©2023, Francisco Alexander Villacís Monar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Francisco Alexander Villacís Monar, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de noviembre del 2023



Francisco Alexander Villacís Monar

C.I: 020214257-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PROVEEDORA INDUSTRIAL BAJO LA NORMA SAE JA1011”**, realizado por el señor: **FRANCISCO ALEXANDER VILLACIS MONAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud que el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Miguel Ángel Pérez Bayas, PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-14
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano, Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-11-14
Ing. Julio César Moyano Alulema, Mg. ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-11-14

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación tiene nombre y apellido, pues se lo quiero dedicar a mi abuelita, Blanquita Mejía, quien ha sido la persona incondicional en mi vida a pesar de las adversidades siempre ha confiado en mí y a estado para apoyarme, a mi madre, quien con sus consejos a sabido guiarme por el mejor camino, a mi familia y a mi esposa quienes son el pilar fundamental en mi vida académica y profesional.

Francisco

AGRADECIMIENTO

El estar vivo es una bendición, por ello el agradecimiento es para Dios, por brindarme la vida y la oportunidad de continuar superándome, a mi madre Bersabe Villacís, por ser la mujer que me trajo a este mundo, por cuidarme y ayudarme a vencer los obstáculos que se han presentado en lo largo de mi carrera.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Industrial que han aportado para conseguir este sueño, de especial manera al Ingeniero Luis Fernando Buenaño y al Ingeniero Julio César Moyano, tutor y asesor, que han sabido dirigirme en el desarrollo del trabajo de titulación. Al Ingeniero Carlos Solórzano, gerente y propietario de la empresa “Provedora Industrial” quien me dio la mano desde el ingreso a mis prácticas profesionales y ahora en el desarrollo del presente trabajo.

Francisco

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i>.....	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Referencias teóricas.....	6
2.1.1. <i>Mantenimiento Industrial</i>.....	6
2.1.1.1. <i>Objetivos del mantenimiento industriales</i>.....	6
2.1.1.2. <i>Tipos de Mantenimiento Industrial</i>.....	7
2.1.2. <i>Maquinaria de la Empresa Proveedora Industrial</i>.....	7
2.1.2.1. <i>Taladro Fresador</i>.....	7
2.1.2.2. <i>Sierra de Cinta</i>.....	8
2.1.2.3. <i>Torno Paralelo</i>.....	8
2.1.2.4. <i>Dobladora hidráulica</i>.....	9
2.1.2.5. <i>Torno CNC</i>.....	9
2.1.2.6. <i>Limadora</i>.....	10
2.1.3. <i>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM</i>.....	10
2.1.4. <i>Gestión de mantenimiento</i>.....	13
2.1.4.1. <i>Gestión</i>.....	13
2.1.4.2. <i>Mantenimiento</i>.....	13

2.1.5.	<i>Análisis de Modo y Efecto de Fallas – AMFE</i>	13
2.1.6.	<i>Análisis de Criticidad</i>	16
2.1.7.	<i>Normas SAE – JA1011</i>	16
2.1.7.1.	<i>Definiciones norma SAE</i>	17
2.1.8.	<i>Producción Industrial</i>	21
2.1.8.1.	<i>Métricas de los indicadores de productividad en la empresa</i>	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Ubicación de la empresa	22
3.2.	Tipo de estudio	23
3.3.	Tipo de investigación	23
3.3.1.	<i>Investigación de enfoque mixta</i>	23
3.3.2.	<i>Investigación aplicada</i>	23
3.3.3.	<i>Investigación descriptiva</i>	24
3.3.4.	<i>Investigación bibliográfica</i>	24
3.3.5.	<i>Investigación de campo</i>	24
3.4.	Metodología	24
3.4.1.	<i>Método deductivo-inductivo</i>	25
3.4.2.	<i>Mantenimiento basado en confiabilidad RCM</i>	26
3.5.	Procesamiento de Datos	28
3.6.	Desarrollo de la metodología centrada en la confiabilidad	29
3.6.1.	<i>Situación actual de la planificación del mantenimiento</i>	29
3.6.1.1.	<i>Criterios para la evaluación del mantenimiento con base en la Norma SAE-JA1011</i> 29	
3.7.	Inventario de activos	30
3.7.1.	<i>Codificación de máquinas</i>	30
3.8.	Árbol de maquinaria	31
3.9.	Ficha técnica	32
3.10.	Componentes de la máquina	34
3.11.	Matriz Criticidad	35
3.11.1.	<i>Interpretación de la matriz criticidad</i>	39
3.12.	Contexto operacional	39
3.13.	Matriz AMFE	41
3.13.1.	<i>¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo? (Limadora)</i>	44
3.13.2.	<i>¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?</i>	44

3.13.3.	<i>¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?</i>	44
3.13.4.	<i>¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?</i>	45
3.13.5.	<i>¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?</i>	45
3.13.6.	<i>¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?</i>	46
3.13.7.	<i>¿Qué se debe hacer en caso de que una falla continúe?</i>	46
3.14.	Hoja de información y decisión de la Limadora	47
3.14.1.	<i>¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo? (Sierra de Cinta)</i>	50
3.14.2.	<i>¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?</i>	50
3.14.3.	<i>¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?</i>	50
3.14.4.	<i>¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?</i>	50
3.14.5.	<i>¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?</i>	51
3.14.6.	<i>¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?</i>	52
3.14.7.	<i>¿Qué se debe hacer en caso de que una falla continúe?</i>	52
3.15.	Hoja de información y decisión de la Sierra de Cinta	52
3.16.	Estimación de parámetros de Weibull	55
3.16.1.	Modelo matemático Weibull primera intervención	55
3.16.1.1.	<i>Análisis de Weibull, confiabilidad (Limadora)</i>	56
3.16.1.2.	<i>Análisis de Weibull, mantenibilidad (Limadora)</i>	61
3.16.1.3.	<i>Análisis de Weibull, confiabilidad (Sierra de Cinta)</i>	64
3.16.1.4.	<i>Análisis de Weibull mantenibilidad (Sierra de Cinta)</i>	68
3.16.2.	Producción antes del mantenimiento	71
3.16.2.1.	<i>Ensayo de piezas defectuosas</i>	71
3.16.2.2.	<i>Análisis en Minitab de elementos concernientes a la producción</i>	72
3.17.	Plan de mantenimiento	74
3.17.1.	<i>Logística del mantenimiento</i>	75
3.17.2.	<i>Documentos de mantenimiento</i>	77

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO	80
4.1.	Datos de la intervención del mantenimiento	80
4.2.	Resultados de la evaluación de la planificación del mantenimiento	81
4.2.1.	Modelo matemático Weibull 2023	81
4.2.1.1.	<i>Análisis de Weibull, confiabilidad (Limadora)</i>	81
4.2.1.2.	<i>Análisis de Weibull, mantenibilidad (Limadora)</i>	85
4.2.1.3.	<i>Análisis de Weibull confiabilidad (Sierra de Cinta)</i>	88

4.2.1.4.	<i>Análisis de Weibull, mantenibilidad (Sierra de Cinta)</i>	92
4.2.2.	<i>Producción después del mantenimiento</i>	95
4.2.2.1.	<i>Ensayo de piezas</i>	95
4.2.2.2.	<i>Análisis en Minitab de elementos concernientes a la producción</i>	96

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1.	Conclusiones	99
5.2.	Recomendaciones	101

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Análisis AMFE - Provedora Industrial	15
Tabla 3-1:	Descripción de ficha.....	31
Tabla 3-2:	Árbol de maquinaria.....	31
Tabla 3-3:	Ficha Técnica Limadora	33
Tabla 3-4:	Ficha Técnica Sierra de Cinta.....	33
Tabla 3-5:	Ficha Técnica Taladro Fresador	34
Tabla 3-6:	Descripción de componentes de la limadora	34
Tabla 3-7:	Descripción de componentes de la sierra de cinta.....	35
Tabla 3-8:	Valoración de la matriz criticidad	36
Tabla 3-9:	Rangos de valoración de la matriz criticidad	36
Tabla 3-10:	Valoración de la matriz criticidad de la Limadora	37
Tabla 3-11:	Valoración de la matriz criticidad de la Sierra de Cinta.....	38
Tabla 3-12:	Contexto Operacional Limadora	40
Tabla 3-13:	Contexto Operacional Sierra de Cinta.....	41
Tabla 3-14:	Clasificación de la gravedad basada en el fallo.....	42
Tabla 3-15:	Clasificación de la frecuencia de fallo.....	43
Tabla 3-16:	Clasificación de la detectabilidad.....	43
Tabla 3-17:	Modo de fallo de la limadora.....	44
Tabla 3-18:	Efectos de la falla	45
Tabla 3-19:	Consecuencias de la falla	46
Tabla 3-20:	Hoja de información de la Limadora.....	48
Tabla 3-21:	Hoja de decisión de la Limadora	49
Tabla 3-22:	Modo de fallo de la sierra de Cinta	50
Tabla 3-23:	Efectos de la falla	51
Tabla 3-24:	Consecuencias de la falla	51
Tabla 3-25:	Hoja de información de la Sierra de Cinta	53
Tabla 3-26:	Hoja de decisión de la Sierra de Cinta.....	54
Tabla 3-27:	Resultados Weibull Limadora 2022	56
Tabla 3-28:	Resultados Weibull Limadora	57
Tabla 3-29:	Resultados Weibull Limadora (mantenibilidad)	61
Tabla 3-30:	Resultados Weibull Sierra de Cinta.....	64
Tabla 3-31:	Resultados Weibull Sierra de Cinta.....	65
Tabla 3-32:	Resultados Weibull Sierra de Cinta (mantenibilidad)	68
Tabla 3-33:	Toma aleatoria de datos – Ensayo de piezas	72

Tabla 3-34:	Gamma de mantenimiento Limadora	74
Tabla 3-35:	Gamma de mantenimiento Sierra de Cinta.....	75
Tabla 3-36:	Requerimientos Logísticos Limadora.....	76
Tabla 3-37:	Requerimientos Logísticos Sierra de Cinta	76
Tabla 3-38:	Solicitud de trabajo.....	78
Tabla 3-39:	Orden de trabajo	79
Tabla 4-1:	Jerarquización de componentes.....	80
Tabla 4-2:	Resultados Weibull Limadora 2023	81
Tabla 4-3:	Resultados Weibull Limadora	81
Tabla 4-4:	Resultados Weibull Limadora (mantenibilidad)	85
Tabla 4-5:	Resultados Weibull Sierra de Cinta 2023.....	88
Tabla 4-6:	Resultados Weibull Sierra de Cinta.....	88
Tabla 4-7:	Resultados Weibull Sierra de Cinta (mantenibilidad)	92
Tabla 4-8:	Tabla resumen de las mejoras.....	95
Tabla 4-9:	Toma aleatoria de datos - Análisis de las piezas	96

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Taladro Fresador	8
Ilustración 2-2:	Sierra de Cinta.....	8
Ilustración 2-3:	Torno Paralelo.....	9
Ilustración 2-4:	Dobladora Hidráulica	9
Ilustración 2-5:	Torno CNC.....	10
Ilustración 2-6:	Limadora	10
Ilustración 2-7:	Proceso centrado en confiabilidad.....	16
Ilustración 3-1:	Ubicación de la empresa Provedora Industrial	22
Ilustración 3-2:	Diagrama de flujo desarrollo metodología.....	25
Ilustración 3-3:	Diagrama de la metodología para la aplicación RCM al área maquinado. ...	27
Ilustración 3-4:	Matriz de Criticidad	28
Ilustración 3-5:	Codificación de máquinas	30
Ilustración 3-6:	Diagrama de decisión	32
Ilustración 3-7:	Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico...	57
Ilustración 3-8:	Selección del modelo de mantenimiento.....	58
Ilustración 3-9:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	58
Ilustración 3-10:	Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	59
Ilustración 3-11:	No confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	59
Ilustración 3-12:	Tasa de Fallos – bi paramétrico.....	59
Ilustración 3-13:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	60
Ilustración 3-14:	Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	60
Ilustración 3-15:	No confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	60
Ilustración 3-16:	Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico	61
Ilustración 3-17:	Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico...	62
Ilustración 3-18:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	62
Ilustración 3-19:	Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico.....	62
Ilustración 3-20:	Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico	63
Ilustración 3-21:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	63
Ilustración 3-22:	Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico	63
Ilustración 3-23:	Tasa de Reparación de Weibull – tri paramétrico	64
Ilustración 3-24:	Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico...	65
Ilustración 3-25:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	66
Ilustración 3-26:	Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	66
Ilustración 3-27:	No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	66

Ilustración 3-28:	Tasa de fallos de Weibull – bi paramétrico.....	67
Ilustración 3-29:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	67
Ilustración 3-30:	Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	67
Ilustración 3-31:	No confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	68
Ilustración 3-32:	Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico	68
Ilustración 3-33:	Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico ...	69
Ilustración 3-34:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	69
Ilustración 3-35:	Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico.....	69
Ilustración 3-36:	Tasa de Reparación de Weibull – bi paramétrico.....	70
Ilustración 3-37:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	70
Ilustración 3-38:	Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico	70
Ilustración 3-39:	Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico	71
Ilustración 3-40:	Análisis de piezas en MiniTab (contexto de producción)	73
Ilustración 3-41:	Flujograma del proceso de mantenimiento	77
Ilustración 4-1:	Jerarquización de componentes.....	80
Ilustración 4-2:	Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico ...	82
Ilustración 4-3:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	82
Ilustración 4-4:	Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	83
Ilustración 4-5:	No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	83
Ilustración 4-6:	Tasa de fallas de Weibull – bi paramétrico	83
Ilustración 4-7:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	84
Ilustración 4-8:	Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	84
Ilustración 4-9:	No Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	84
Ilustración 4-10:	Tasa de fallas de Weibull – tri paramétrico.....	85
Ilustración 4-11:	Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico ...	85
Ilustración 4-12:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico.....	86
Ilustración 4-13:	Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico.....	86
Ilustración 4-14:	Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico	86
Ilustración 4-15:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico	87
Ilustración 4-16:	Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico	87
Ilustración 4-17:	Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico	87
Ilustración 4-18:	Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico ...	89
Ilustración 4-19:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo bi paramétrico.....	89
Ilustración 4-20:	Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	89
Ilustración 4-21:	No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico	90
Ilustración 4-22:	Tasa de fallas de Weibull – bi paramétrico	90
Ilustración 4-23:	Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo tri paramétrico	90

Ilustración 4-24: Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	91
Ilustración 4-25: No Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico.....	91
Ilustración 4-26: Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico	91
Ilustración 4-27: Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico...	92
Ilustración 4-28: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo bi paramétrico.....	93
Ilustración 4-29: Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico.....	93
Ilustración 4-30: Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico	93
Ilustración 4-31: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo tri paramétrico	94
Ilustración 4-32: Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico	94
Ilustración 4-33: Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico	94
Ilustración 4-34: Análisis de piezas en MiniTab (contexto de producción)	97
Ilustración 4-35: Informe R&R del sistema.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** FICHAS TÉCNICAS DE LAS MAQUINARIAS DE LA EMPRESA
PROVEEDORA INDUSTRIAL
- ANEXO B:** DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE LA MAQUINARIA
- ANEXO C:** CONTEXTO OPERACIONAL DE LA MAQUINARIA
- ANEXO D:** MATRIZ DE CRITICIDAD PARA LOS COMPONENTES DE LA
MAQUINARIA
- ANEXO E:** HOJAS DE INFORMACIÓN DE LA MAQUINARIA
- ANEXO F:** DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II
- ANEXO G:** HOJAS DE DECISIÓN DE LA MAQUINARIA
- ANEXO H:** GAMMAS DE MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA
- ANEXO I:** VISITA TÉCNICA A LA EMPRESA
- ANEXO J:** ENTREVISTA Y ENCUESTA
- ANEXO K:** ENTREVISTA AL GERENTE Y ENCUESTA A LOS TRABAJADORES
- ANEXO L:** TABULACIÓN DE DATOS

RESUMEN

La Empresa “Proveedora Industrial” al prestar servicios de maquinado de metales: taladrado, torneado, fresado, erosión, lapidado, brochado, esmerilado, soldadura, cortado, etc, donde se utiliza máquinas industriales como: taladro fresador, sierra de cinta, limadora, torno paralelo, dobladora hidráulica y torno CNC (control numérico por computadora). Mencionadas máquinas no cuentan con un plan de mantenimiento industrial adecuado; es decir, mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos, es por ello que se planteó diseñar un plan de mantenimiento industrial centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la productividad de la empresa Proveedora Industrial bajo la norma SAE JA1011. Para ello se utilizó una metodología de análisis de la información referente al mantenimiento. El proceso se compone de la descripción de las funciones de los equipos, fallas funcionales, modos de fallo, efectos de los fallos, categorías de la consecuencia de los fallos. Elaboración de políticas y el plan de mantenimiento del equipo, esta metodología se enfoca en salvaguardar las máquinas con el propósito de mantenerlas activas la mayor cantidad de tiempo posible para de esa manera no entorpecer la producción. Las máquinas de la empresa poseen una alta disponibilidad pues actualmente en un periodo de máximo trabajo y antes de entrar en su declive es necesario identificar cuantos componentes críticos poseen. Obteniendo como resultado después del análisis que el 40.83% de los componentes están en estado crítico, un notorio 40% son no críticos y, por último, el 19,17% son semicríticos de un total de 120 elementos analizados. Concluyendo que se logró con éxito elaborar un modelo de plan de mantenimiento RCM enfocado en extender la vida útil de las máquinas de la empresa objeto de estudio con ello para su aplicación a largo plazo será eficiente a la medida que las máquinas se orientan hacia su periodo de declive.

Palabras clave: <MANTENIMIENTO INDUSTRIAL> <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)> <GESTIÓN> <PRODUCTIVIDAD> <PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL>.

2146-DBRA-ÚPT-2023



SUMMARY

Provedora Industrial Company provides metal machining services: drilling, turning, milling, erosion, lapidary, broaching, grinding, welding, cutting, etc., where industrial machines are used such as: milling drill, band saw, filing machine, parallel lathe, hydraulic bending machine and CNC (computer numerical control) lathe. These machines do not have an adequate industrial maintenance plan, in other words, preventive, predictive and corrective maintenance, for this reason it was proposed to design an industrial maintenance plan focused on reliability (RCM) to improve the productivity of the company under the SAE JA1011 standard. For this purpose, a maintenance information analysis methodology was used. The process is integrated by the description of equipment functions, functional failures, failure modes, failure effects, failure consequence categories. This methodology focuses on safeguarding machines in order to keep them active for as long as possible so as not to hinder production. The company's machines have a high availability because currently in a period of maximum work and before starting their decline, it is necessary to identify how many critical components they already have. As a result of the analysis, 40.83% of the components are in a critical state, 40% are non-critical and 19.17% are semi-critical out of a total of 120 elements analyzed. In conclusion, it was successfully implemented a model of RCM maintenance plan focused on prolonging the useful life of the machines of the company under analysis, which for its long-term application will be efficient as the machines are heading towards their period of decline.

Key words: <INDUSTRIAL MAINTENANCE> <RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM)> <PRODUCTIVITY> <MANAGEMENT> <INDUSTRIAL MAINTENANCE PLAN>.



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama.
C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

Los mantenimientos industriales dieron sus inicios con las primeras máquinas de trabajo de reparación en la época de la revolución industrial a final del siglo XVIII, se empezó a tomar en cuenta lo que se producía y lo que se fracasaba por las fallas existentes en las maquinarias, siendo este el motivo principal para controlar los desperfectos. En 1920 los equipos de aviación dieron las fallas iniciales en motores, por ende, existen desde dicha fecha estadísticas sobre las fallas y los mantenimientos que se han realizado; es decir, la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo industrial y las primeras necesidades de reparación, tomando en consideración que las fallas se dieron por la exageración en el uso y esfuerzo de las maquinas, sin considerar que debían someterse a ciertos cuidados para mejorar el rendimiento (Nieto Steven, 2009).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, de aquí en adelante RCM, dio sus primeros pasos en los años 50 por dos accidentes aéreos producidos por fallas mecánicas y no por errores humanos, obligando a dar solución y seguridad en los equipos, dando como solución la creación de grupos de mantenimiento, tareas de mantenimiento e informes sustentados en las normas SAE, para aplicar como estrategias y evitar las falencias en motores, equipos y maquinarias de otras industrias (Espín Barahona Hugo, 2018).

Actualmente, los mantenimientos industriales pueden definirse como un conjunto de normas y técnicas que proporcionan un mejoramiento en el rendimiento de la planta industrial en el menor tiempo posible, permitiendo fortalecer el entorno laboral y de producción.

Se ha implementado nuevas técnicas de soporte para que los mantenimientos tengan mejor eficiencia como se conoce el análisis de modo y efecto de fallas, de ahora en adelante AMFE, con el propósito de seleccionar las situaciones críticas de la planta industrial y su producción determinando por rangos las necesidad y atención que se debe incurrir. Esta técnica analiza los riesgos en los procesos de manufactura aportando ventajas y estableciendo herramientas que generen un rendimiento sustancial con respecto a fallas y averías (Cariapaza et al., 2015).

Además, las normas SAE, son un mecanismo para regular los materiales y elementos que componen los motores industriales; es decir, todo lo relacionado con mecánica, para ellos se clasifica en aceros, aleaciones de todo tipo, compuestos sintéticos, partes de transmisión, etc. El objetivo de estas normas es que exista una estandarización y se garantice el cumplimiento de determinadas especificaciones, también el de establecer los criterios y requerimientos mínimos para ser considerado RCM. Se considera como una guía para que el desempeño operativo sea clasificado por los tipos o efectos de falla, así poder determinar que se debe realizar para predecir,

prevenir o solucionar dichas fallas, buscando que el impacto o consecuencia de la falla no vulnere la seguridad de la planta industrial, la capacidad operacional, los costos e impactos ambientales que se pueden producir, por ello se los selecciona cuidadosamente para que cada falla tenga un proceso de RCM (Conscious, s. f.).

En concordancia con lo que hemos mencionado, cada tema tiene un nexo que se complementa para que exista un mantenimiento centrado en la confiabilidad, por ello el presente trabajo tiene como objetivo el diseñar un plan de mantenimiento industrial RCM, para mejorar la productividad cumpliendo con los requisitos, especificaciones, directrices y características en los productos, procesos y servicios que otorga la empresa Provedora Industrial, dando confiabilidad, seguridad y eficiencia en su fabricación, cumpliendo con lo que estipula las normas SAE JA1011.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En el ámbito empresarial industrial, las maquinarias son el eje fundamental para el desarrollo de las actividades de servicios y producción, por ende, las maquinas se vuelven de vital importancia y consigo el mantenimiento de estas, pero lo que no se ha tomado importancia es que en el trascurso del uso y del paso de los años, tienden a disminuir la capacidad de trabajo, producto del uso, desgaste propio y vida útil del equipo. Además, los fallos en producción se deben también a un inapropiado o carente mantenimiento de las máquinas, dando como consecuencia fallos en el diseño, manufactura, baja calidad de producción.

En nuestro país, el sector industrial busca mejorar y cambiar sus procesos de producción, lo cual exige que su ejecución nazca desde el manejo de las maquinarias, condiciones de equipos y mano de obra calificado, para que estas sean aprovechadas al máximo deben cumplirse con acciones de mantenimiento para evitar problemas en los servicios. Los mantenimientos a la maquinaria industrial deben planificarse desde el punto de necesidad de los equipos, puede ser preventivo si el equipo está en funcionamiento, de carácter correctivo si la necesidad es de reparación por mal funcionamiento o daños que paran la producción.

En la empresa Provedora Industrial los servicios que ofrece, ya antes mencionados, cuenta con maquinaria para trabajar en metales; con equipos como: taladro fresador, sierra de cinta, limadora, torno paralelo, dobladora hidráulica, torno CNC, los cuales deben someterse a los mantenimientos que por norma los corresponde (Norma SAE JA1011), se ha identificado la necesidad de un plan de mantenimiento industrial enfocado en la RCM, puesto que, se han dado desperfectos en las piezas elaboradas por las maquinas mencionadas. La planta industrial no consta con planes de mantenimiento, lo que conlleva a que existe un descuido, mala operación y manipulación de los equipos, provocando falencias en el producto final afectando en los costos de la empresa.

De esta manera es como el mantenimiento industrial ha crecido, tomando importancia en los últimos años, precisamente por los problemas que desencadena un mal desempeño de esta, ocasionando pérdidas en la producción, accidentes con el personal, hasta sanciones considerables por los entes de control.

1.2. Justificación

La Empresa Proveedor Industrial, dedicada principalmente al maquinado de metales y fabricación de partes, piezas y accesorios, posee maquinaria y herramientas que intervienen de muchas formas en la actividad de producción, las mismas que desempeñan sus funciones con un alto índice de calidad y seguridad, es por esto que llega el interés por investigar, puesto que se busca reducir el cambio de piezas (repuestos), sobrecalentamiento en los activos, así como el uso excesivo e innecesario de energía y de los recursos en general, para esto es importante conocer a fondo el funcionamiento, así como la manera correcta de proporcionar un mantenimiento preventivo y correctivo con buenos parámetros de eficiencia y eficacia.

Considerando que los paros y fallos en esta empresa se pueden dar de manera inesperada, alterando el cronograma de entrega, también teniendo presente que no se cuenta con un plan de mantenimiento adecuado, nada más con las fichas de recomendaciones de los fabricantes, la experiencia del personal que trabaja en la empresa, se ha podido mitigar dichas fallas y paros en la producción, todo esto a cambio de mantenimientos correctivos lo que representa incremento en los costos y afectando los parámetros de productividad.

Por este motivo es viable el aplicar un análisis de criticidad mediante un estudio AMFE de los activos que conforman la unidad de maquinado, seleccionando los más críticos, lo cual permita aplicar la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y así obtener el Plan de Mantenimiento más acorde al sistema de producción.

La propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se encargará de evaluar los activos más críticos con el firme objetivo de que estos posteriormente presenten el mínimo número de fallas de operación, asegurando la confiabilidad, mejorando la disponibilidad, evitando mantenimientos correctivos, paros en la producción, cumpliendo con las fechas de entrega y mejorando los indicativos de productividad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento industrial centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la productividad de la empresa Proveedor Industrial bajo la norma SAE JA1011.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre la aplicación de la metodología RCM mediante la compilación de literatura científica para facilitar su aplicación en la empresa Proveedora Industrial.
- Realizar el diagnóstico de la empresa mediante una evaluación insitu para determinar cuáles son sus necesidades, mediante la revisión minuciosa de información dentro del área de maquinado.
- Valorar los niveles de criticidad de la maquinaria dedicada a la producción dentro del área de maquinado en la empresa Proveedora Industrial, para elaborar el RCM en base a la criticidad priorizando los activos más críticos.
- Preparar los registros y protocolos del plan de mantenimiento RCM, para la maquinaria y equipos críticos en el área de maquinado de la empresa Proveedora Industrial, fundamentado en la norma SAE JA1011 para mejorar los indicadores de productividad.
- Diseñar el plan de mantenimiento industrial centrado en la confiabilidad (RCM), para la maquinaria y equipos de mayor riesgo, iniciando con los que tengan un índice de criticidad más elevado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Referencias teóricas

2.1.1. *Mantenimiento industrial*

Desde tiempos remotos se ha venido realizando actos de mantenimiento de forma empírica en las labores cotidianas; es decir, el uso de cuchillos, azadones y otras fueron reparadas cuando sufrían daños que dejen sin utilidad a la herramienta, aplicando una forma de mantenimiento en el propósito de restituir y dejarla en condiciones para que cumpla con el trabajo que hacia la herramienta previo a su fallo. Además, en la historia del mantenimiento de puede poner en consideración cuatro puntos que permiten la evolución de la misma; desde 1950 se realizaban acciones que eran netamente correctivas, debido a que no existía un discernimiento sobre prevenir deterioros o daños; en el segundo punto, en el año 1980 aparece el mantenimiento preventivo en relación a reparaciones que ya eran programadas; en el tercer punto, en los año 2000, nacen los mantenimientos predictivos, en los cuales ya se llevaba un control de las condiciones de los activos, finalmente, en el siglo XXI, el último punto involucra al sector empresarial en realizar mantenimientos integrales, para que abarquen prevención, predicción y corrección de los fallos presentados (Pérez 2021).

Por otro lado, los mantenimientos industriales se los define como un conjunto de actividades técnicas orientadas a mejorar el rendimiento y funcionamiento de la maquinaria o equipos de la planta industrial, con el afán de cuidar que el paso del tiempo (Mantenimiento.win 2018).

2.1.1.1. *Objetivos del mantenimiento industriales*

El objetivo fundamental del mantenimiento industrial es de planear, programar y controlar las actividades que garantizan el correcto funcionamiento de los equipos dentro de la planta industrial para la producción de los servicios. Además, se enfoca en mantener un listado codificado para identificar los equipos existentes, realizar fichas técnicas con información relevante de cada maquinaria, realizar cronogramas de tareas de mantenimiento acorde a periodos de corto, mediano y largo plazo (Olarde et al., 2010).

Dichos objetivos son ejecutables por medio del departamento de mantenimiento, tomando en consideración cuatro puntos fundamentales: disponibilidad, fiabilidad, vida útil y coste de cada equipo, los cuales deben dirigirse a cumplir con: (Mantenimiento.win, 2018).

- Asegurar una larga vida útil acorde al periodo de amortización de la planta,
- Lograr los mantenimientos dentro de un presupuesto determinado,
- Personal técnico capacitado para mantenimiento,
- Fichas, manuales y repuestos que van acorde al mantenimiento (Mantenimiento.win, 2018).

2.1.1.2. Tipos de Mantenimiento Industrial

Los mantenimientos industriales se ven enfocados acordes a la necesidad del activo, recordando que el plan de mantenimiento busca garantizar un correcto funcionamiento de la plana industrial, por ende, tenemos acorde a la necesidad el tipo de mantenimiento:

- Mantenimiento Preventivo.** - Se caracteriza por ser un grupo de actividades que han sido planificadas para anticiparse a una avería o daño grave, para corregir posibles problemas antes de la falla; es decir, este mantenimiento se lleva a cabo de manera sistemática, después de un tiempo determinado. También, es conocido como mantenimiento planificado, al ser aplicado en periodos establecidos durante los procesos de producción, estos mantenimientos van de acuerdo a las recomendaciones elaboradas por los fabricantes y experiencia de los operadores del equipo (Hernández 2018).
- Mantenimiento Predictivo.** – Se caracteriza por usar herramientas tecnológicas durante los mantenimientos, para lograr medir los parámetros en los equipos, dando un indicativo para el tipo de falla que pudiese presentar el sistema (Hernández 2018).
- Mantenimiento Correctivo.** – Se caracteriza por enfocarse en acciones correctivas de un equipo o sistema una vez que se haya presentado fallas, estas pueden ser totales, parciales o mínimas, pero los gastos son impredecibles que pueden ocasionar al dar las soluciones. Debido a que la empresa recae en una emergencia se considera también la pérdida de producción adicional a los gastos que representa el reparar piezas o repuestos (Hernández 2018).

2.1.2. Maquinaria de la Empresa Proveedora Industrial

2.1.2.1. Taladro Fresador

Herramienta usada para funciones como taladro y como fresador; en el primer caso, puede taladrar agujeros de distintos diámetros, es decir, puede perforar distintos materiales, como el acero y

puede quitar la viruta, pulir los sobrantes y desperfectos, ara darle un mejor aspecto y acabado a la pieza. En el segundo caso como fresadora, puede hacer varios trabajos y piezas a base del desbaste de la viruta con gran precisión y exactitud (Aeromaquinados 2021).



Ilustración 2-1: Taladro Fresador

Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.2.2. *Sierra de Cinta*

Herramienta usada para cortar material; acero, aluminio, nylon y teflón, en cualquier diámetro.



Ilustración 2-2: Sierra de Cinta

Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.2.3. *Torno Paralelo*

Es una herramienta que permite transformar un sólido cualquiera en una pieza o cuerpo bien definido en su forma y dimensión, hace girar el sólido del eje de simetría de la forma buscada, arranca material en forma de viruta y periféricamente.(Servicio de Salud y Riesgos Laborales 2021).



Ilustración 2-3: Torno Paralelo

Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.2.4. *Dobladora hidráulica*

Herramienta dobladora de tubos utilizada para realizar moldeos y curvaturas en tubos metálicos, siendo unas máquinas específicas capaces de manipular metales y aplicar las suficientes tensiones como para no dañar una pieza y evitar la rotura (Production Tool, 2023).



Ilustración 2-4: Dobladora Hidráulica

Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.2.5. *Torno CNC*

Herramienta conocida también como torno de control numérico que se refiere a una máquina del tipo torno que se utiliza para mecanizar piezas de revolución mediante un software de computadora que utiliza datos alfanuméricos, siguiendo los ejes cartesianos X, Y, usada para producir en cantidades y precisiones, ya que la computadora que viene incorporada es la encargada de realizar la pieza. (Mecanizados Garriguez 2021)



Ilustración 2-5: Torno CNC
Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.2.6. *Limadora*

Herramienta para el mecanizado de piezas por arranque de viruta, mediante el movimiento lineal alternativo de la herramienta o movimiento de corte, permitiendo el mecanizado de piezas pequeñas y medianas.(Wikipedia 2022).



Ilustración 2-6: Limadora
Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

2.1.3. *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM*

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Reliability Centre Maintenance, RCM, es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo. Es un procedimiento estructurado para determinar la política de mantenimiento más adecuada para cada activo físico de una planta industrial, atendiendo a su contexto operacional. Se usa para saber lo que debe hacerse para asegurar que un activo físico,

continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, basado en garantizar la seguridad y minimizar el riesgo al entorno y las vidas humanas, el impacto al medio ambiente, a la afectación a la producción, así como la disminución de los costos de operación y mantenimiento (Díaz et al. 2016).

Este método de mantenimiento tiene como paradigma la “preservación de la función del sistema”. Entre las principales preocupaciones operativas se encuentran: análisis de fallas; probabilidades de recurrencia; definición de procedimientos; criterios de priorización basados en factores económicos y prácticas eficientes y seguras que involucren costo-beneficio en el combate de fallas.(Engeman 2018)

Por otro lado, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), como su nombre indica, es una metodología muy eficaz que se utiliza para identificar todas las posibles causas que puede provocar un fallo en el sistema utilizando relaciones de causa y efecto. Después de identificar todas las causas posibles, se puede determinar el mejor método de estrategia de mantenimiento para eliminar los fallos. La estrategia elegida debe garantizar el funcionamiento de los equipos y procesos asegurando la seguridad y la fiabilidad. El concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) hace hincapié en la adecuación de los activos individuales a las técnicas de mantenimiento que tienen más probabilidades de ofrecer resultados rentables (Centro de Formación Técnica para la industria 2021).

Jordi Jaumandreu (1998), expone un procedimiento a partir de encuestas para determinar la implementación estratégica en empresas, pero entre sus limitaciones están que no parte de un enfoque de procesos y solo es aplicable para empresas manufactureras. Estos elementos limitan su aplicación en esta investigación, pues las empresas de transmisión eléctrica pertenecen al área de servicios y para la aplicación de RCM se requiere un enfoque a procesos. Mientras que *Pablo Viveros (2013)* presenta las bases para la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento, el modelo toma elementos sustantivos de un RCM donde plantea la necesidad de partir de un diagnóstico, pero no deja claro los elementos para el mismo(Díaz et al. 2016).

En definitiva, es un marco completo que siempre intenta prolongar la vida útil de los equipos y reducir el tiempo de inactividad, de la forma más rentable posible.

El objetivo principal del RCM se entiende mejor analizando sus palabras raíz:

- **Confiabilidad:** La cualidad de funcionar siempre bien.
- **Mantenimiento:** Garantizar que los activos sigan funcionando como se desea (Centro de Formación Técnica para la industria 2021).

La RCM es una estrategia que cuando se aplica de manera correcta, genera mejoras significativas en la confiabilidad del equipo y el rendimiento de la planta, al mismo tiempo garantiza que se optimice el dinero que se gasta en mantenimientos preventivos y predictivos. Para realizar un mantenimiento centrado en la confiabilidad debemos considerar algunos estándares de desempeño (Mantenimiento Petroquímica 2021).

La filosofía RCM plantea, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplica el correspondiente mantenimiento correctivo. Entre las herramientas del RCM se pueden citar, equipo de trabajo de la mejora continua, definición de sistemas, funciones y contextos operacionales, establecimiento y diferenciación de la criticidad, análisis de la causa raíz, documentación de hojas de decisión para las tareas de planificación (González Sosa et al. 2020).

La implementación del RCM dentro de una empresa crea un equipo multidisciplinario, involucrando colaboradores del área de operación y mantenimiento. Aplicando los conocimientos y técnicas de las diferentes áreas, se hace posible responder a las siete preguntas del método:

- Definición de lo sistema (fronteras / interfaces);
- Funciones y análisis de las fallas funcionales;
- FMEA – Análisis de los modos falla y sus efectos;
- Diagrama de decisión para la selección de tareas de mantenimiento;
- Formulación e implantación de plan de mantenimiento basado en la RCM (Olarte, Botero y Cañon 2010).

La RCM reconoce tres categorías principales de acciones predeterminadas, de la siguiente manera:

- a) **Detección de fallas:** las tareas de detección de fallas implican verificar funciones ocultas periódicamente para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en condiciones implican verificar si algo está fallando).
- b) **Rediseño:** el rediseño implica realizar cualquier cambio único en la capacidad incorporada de un sistema. Esto incluye modificaciones al hardware y también cubre cambios únicos en los procedimientos.
- c) **Sin mantenimiento programado:** como su nombre lo indica, este valor predeterminado implica no hacer ningún esfuerzo para anticipar o prevenir los modos de falla a los que se aplica, por lo que esas fallas simplemente se permiten que ocurran y luego se reparen, este valor predeterminado también se denomina ejecución hasta fallar (Mantenimiento Petroquímica 2021).

2.1.4. Gestión de mantenimiento

2.1.4.1. Gestión

El término gestión es utilizado para referirse al conjunto de acciones, o diligencias que permiten la realización de cualquier actividad o deseo. Dicho de otra manera, una gestión se refiere a todos aquellos trámites que se realizan con la finalidad de resolver una situación o materializar un proyecto. En el entorno empresarial o comercial, la gestión es asociada con la administración de un negocio (Centro de Formación Técnica para la industria, 2021).

2.1.4.2. Mantenimiento

Se lo define como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Romero y Molina 2021).

El mantenimiento también se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general (Rojas Lema 2019).

2.1.5. Análisis de Modo y Efecto de Fallas – AMFE

El AMFE fue aplicado por vez primera por la industria aeroespacial en la década de los 60, e incluso recibió una especificación en la norma militar americana MIL-STD16291 titulada "Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad". En la década de los 70 lo empezó a utilizar Ford, extendiéndose más tarde al resto de fabricantes de automóviles. En la actualidad es un método básico de análisis en el sector del automóvil que se ha extrapolado satisfactoriamente a otros sectores. Este método también puede recogerse con la denominación de AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad), al introducir de manera remarcable y más precisa la especial gravedad de las consecuencias de los fallos (Bestratén, Orriols y Mata 1995).

La herramienta está destinada a identificar y prevenir los modos de fallo, sea de un producto o de un proceso, estableciendo un orden prioritario para plantear e implementar las acciones correctivas correspondientes. Implementar el AMFE, aplica mayor control sobre los procesos,

con el objetivo de incrementar la productividad de la planta industrial y asegurara la calidad del producto y proceso (Catalina y Ulloa 2015).

Los objetivos de la implementación del AMFE son:

- Reducir el tiempo en los plazos e incrementar la eficacia de los proyectos en el desarrollo de nuevos productos y mejorar los productos con los que cuenta en la actualidad. Se puede predecir cuáles serán los fallos que se pueden producir durante la fabricación y se pueden aplicar medidas correctoras.
- Analizar y evaluar la eficiencia de las acciones que se llevan a cabo, estableciendo un proceso de mejora continua según la mejora de la calidad de los productos.
- Familiarizar y educar al personal en el trabajo en equipo durante el diseño, persigue el fin de que sean ellos mismos los que prevean los posibles fallos, identifiquen las causas y propongan acciones preventivas (ISOTOOLS 2019).

Finalmente, en el presente trabajo se aplicó AMFE PROCESOS, el cual se encuentra enfocado en el análisis de fabricación y montaje, fallos que ocurren o se producen durante la fabricación, con el objetivo de mejorar la calidad y fiabilidad de las funciones del producto.

Tabla 2-1: Análisis AMFE - Proveedora Industrial

Hoja de Información RCM		Sistema/Activo		Sistema N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
		Sub-Sistema/Componente		Subsistema N°	Auditor:	Fecha:	De:
		ANÁLISIS AMFE DE LA MÁQUINA					
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Máquina	Función	Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla		
Limadora	1 Mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte	A Limadora presenta disminución en el nivel de producción	1	Herramienta de trabajo atrofiada	El proceso de desbaste es intermitente pues la herramienta no responde		
			2	Daños estructurales en la Bancada	La máquina presenta un desbalance debido a la pérdida de la integridad de la máquina		
			3	Brazo de trabajo estancado	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales		
		B La máquina presenta un traqueteo	1	La exentica presenta holgura	La máquina presenta un ruido metálico generado entre el brazo y a pieza		
			2	Eje de la máquina agrietado	Los rodamientos de la máquina presentan desgaste y deben ser reemplazados en un tiempo no característico		
		C Limadora fuera de servicio	1	Cableado de la máquina en mal estado	El sistema no tiene alimentación (voltaje)		
			2	Motor de la máquina quemado	El proceso de desbaste es interrumpido debido a elementos quemados		
			3	Contrapunto estancado			
			4	Nivel de aceite en cero	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales		

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

2.1.6. *Análisis de Criticidad*

Un activo crítico es aquel que tiene potencial para impactar significativamente en el logro de los objetivos de la organización. Es una metodología que permite establecer el grado de importancia, jerarquía o prioridades de las instalaciones, sistemas y activos. Esta permite establecer rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos (modos de fallas) y sus consecuencias asociadas.

2.1.7. *Normas SAE – JA1011*

La norma SAE JA1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM); especifica que cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran en la Ilustración 7.

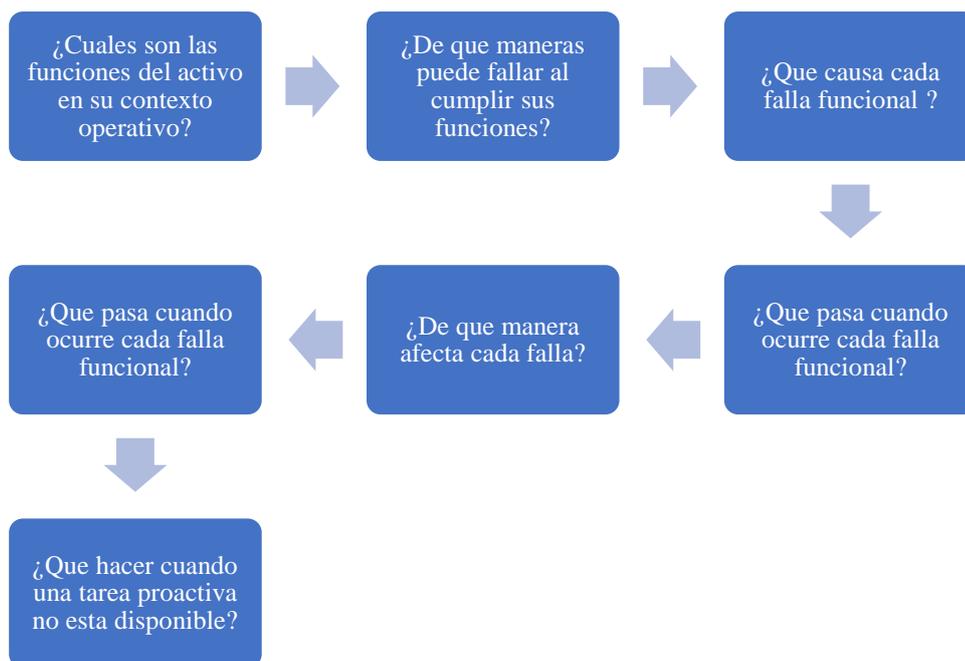


Ilustración 2-7: Proceso centrado en confiabilidad

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

La normativa está destinado a organizaciones que necesitan mantener y administrar sistemas y equipos de manera responsable. El principal objetivo de la norma es identificar las políticas que se deben implementar en una organización para gestionar los modos de falla de un sistema o equipo. La metodología descrita en la norma permite evaluar procesos para determinar si se puede

implementar un plan de mantenimiento RCM mediante diagnósticos basados en criterios mínimos.

Contenidos de la normativa:

- Funciones del sistema o equipo
- Fallas funcionales
- Modos de fallo
- Efectos de los fallos
- Categorías de consecuencias de fallos
- Selección de políticas de gestión de fallos
- Políticas de gestión de fallos: tareas programadas
- Políticas de gestión de fallos: cambios únicos y ejecución hasta el fallo
- Programa de vida del sistema o equipo

2.1.7.1. *Definiciones norma SAE*

Cambio de especificaciones: Cualquier medida adoptada para alterar la configuración física de un activo o sistema (rediseño o modificación), alterar la técnica que emplea un operador o encargado del mantenimiento para completar una tarea concreta, alterar el entorno operativo en el que funciona el sistema o alterar el conjunto de habilidades de un operador o encargado del mantenimiento (formación).

Capacidad Inicial: El nivel de rendimiento que puede alcanzar el sistema o el activo físico en el momento de la puesta en servicio.

Consecuencias Ambientales: Cualquier norma o legislación medioambiental corporativa, local, regional, nacional o internacional que sea aplicable al activo físico o sistema objeto de examen puede ser infringida por un modo de fallo o numerosos fallos.

Consecuencias de Falla: Los efectos que puede tener un modo de fallo único o numerosos fallos (pruebas de fallos, efectos sobre la seguridad, el medio ambiente, las capacidades operativas y los costes directos o indirectos de reparación).

Consecuencias en la Seguridad: Si un modo de fallo o varios fallos pudieran poner en peligro o matar a una persona, habría repercusiones en la seguridad.

Consecuencias No Operacionales: Un subconjunto de consecuencias de fallos que simplemente exigen la reparación o sustitución del elemento o elementos a los que el fallo podría afectar. Estas consecuencias no tienen repercusiones en las operaciones, la seguridad o el medio ambiente.

Consecuencias Operacionales: Un grupo de resultados de fallos que repercuten negativamente en la capacidad de funcionamiento de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al cliente, capacidades militares o gastos de funcionamiento además de los costes de reparación).

Contexto Operacional: Las condiciones en las que se prevé que funcione el sistema o activo físico.

Desempeño deseado: El grado de rendimiento que desea el propietario o usuario de un sistema o activo físico.

Desincorporación Programada: Una acción programada que, independientemente del estado existente del componente, hace que éste sea retirado del servicio en o antes de un límite de vida útil predeterminado.

Dispositivo Protector o Sistema Protector: Una herramienta o sistema creado para evitar, disminuir o prevenir los efectos del fallo de otro sistema.

Dueño: Una entidad o persona que, en virtud de la propiedad del sistema o activo, puede verse perjudicada o ser responsable de los efectos de modo de fallo.

Efecto de Falla: Qué ocurre cuando surge un modo de fallo

Falla Evidente: Un modo de fallo que, cuando se produce solo, tiene repercusiones que son visibles para el personal operativo en condiciones normales.

Falla Funcional: Una situación en la que un sistema o activo físico es incapaz de llevar a cabo una tarea específica con el grado de rendimiento necesario.

Falla Múltiple: Un incidente que ocurre cuando una función protegida funciona mal cuando su sistema o dispositivo de defensa funciona mal.

Falla Oculta: Un modo de fallo que, cuando se produce solo, tiene una consecuencia que no es inmediatamente perceptible para el personal operativo.

Falla Potencial: Una señal evidente de que se va a producir o ya se ha producido una avería funcional.

Función: Lo que el propietario o usuario de un activo físico desea que el sistema cumpla.

Función Evidente: Un proceso que, en ausencia de otros fallos, los empleados operativos normalmente no conocerían.

Función Oculta: Un proceso que, en ausencia de otros fallos, los empleados operativos normalmente no conocerían.

Función(es) Primaria(s): La finalidad o finalidades principales para las que el propietario o usuario del activo físico o sistema lo adquirió.

Funciones Secundarias: Las funciones adicionales que un activo físico o sistema debe llevar a cabo además de su(s) función(es) principal(es), así como cualquier tarea adicional necesaria para cumplir las normas reglamentarias o encargarse de cuestiones de seguridad, contención, comodidad, estética, eficiencia energética e integridad estructural.

Intervalo P-F: El periodo de tiempo que transcurre entre el momento en que un posible fallo se hace observable por primera vez y el momento en que se convierte en un fallo de funcionamiento (también conocido como "periodo hasta el desarrollo del fallo" o "tiempo esperado hasta el fallo").

Intervalo P-F Neto: El tiempo más corto que probablemente transcurrirá entre el descubrimiento de un posible fallo y la aparición de un fallo funcional.

Longevidad: Medida de la exposición al estrés que tiene en cuenta el tiempo que tarda un objeto o componente en utilizarse por primera vez o en volver a utilizarse tras completar una tarea específica para restaurar su capacidad original. Puede expresarse en términos de tiempo de calendario, tiempo de funcionamiento, distancia de desplazamiento, ciclos de vida o unidades de producción o potencia.

Mantenimiento Proactivo: Mantenimiento realizado con antelación a un fallo para evitar que un componente falle (parada planificada, recuperación planificada y mantenimiento basado en la condición).

Modo de Falla: Un suceso aislado que da lugar a un fallo funcional

Operar hasta Fallar: Una estrategia de gestión de fallos que no intenta predecir ni evitar que se produzca un modo de fallo concreto.

Política de Manejo de Fallas: Una frase que hace referencia a las tareas basadas en la condición, la restauración planificada, el desmantelamiento planificado, la detección de fallos, el funcionamiento hasta el fallo y el cambio de especificación.

Probabilidad Condicional de Falla: Si el elemento en cuestión ha sobrevivido desde el inicio de un determinado periodo de tiempo, la probabilidad de que se produzca un fallo en ese periodo de tiempo

Programado: La "supervisión continua" (en la que el intervalo es esencialmente cero) se programa de forma fija, a intervalos predefinidos.

Restauración Programada: Una acción planificada que, independientemente del estado actual de un elemento, restaura su capacidad a un nivel que le da una oportunidad respetable de sobrevivir hasta el final de otro intervalo especificado en (o antes de) un intervalo dado (límite de longevidad).

Tarea Apropiada: Una tarea que es técnicamente posible, valiosa de completar y útil.

Tarea Basada en Condición: una actividad planificada destinada a identificar fallos probables.

Tarea para Detectar Fallas: Una actividad planificada destinada a comprobar la existencia de un determinado fallo oculto.

Usuario: Persona o grupo que gestiona un recurso o sistema que podría verse afectado por un modo de fallo o ser responsable de sus efectos (Sociedad de Ingeniería 1999).

2.1.8. *Producción Industrial*

2.1.8.1. *Métricas de los indicadores de productividad en la empresa*

Para que una empresa tenga un crecimiento continuado, debe conocer dónde está situada y medir su competitividad respecto a sus competidores. Por eso existen los indicadores de productividad, para vigilar los procesos internos de la compañía. Los indicadores de productividad no solo van a ayudar a la compañía a conocer la situación de sus diferentes departamentos, sino que son indispensables para poder diseñar la estrategia interna que permita optimizar los diferentes procesos en cada uno de ellos. Los indicadores de productividad son herramientas que se utilizan para medir la eficiencia dentro de la empresa, es decir, el rendimiento de los procesos que se están llevando a cabo en ella (Olarte, Botero y Cañón 2010).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la empresa

El estudio está ubicado en Primera Constituyente 35-36 y Diego de Ibarra, ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, cuenta con una infraestructura para brindar un mejor acercamiento a los clientes, cuenta con un equipo de profesionales altamente calificados en el campo de la mecánica y electrónica industrial. Proveedora Industrial construye equipos y maquinaria en acero inoxidable de excelente calidad, implementando cambios tecnológicos, requisitos fundamentales para dejar en alto nuestro nombre y el de nuestro país. La empresa consta con las siguientes áreas: área administrativa y diseño, área de recepción y entrega, área de bodega, área de limpieza, área de desbaste y deformación de materiales, área de acabados.

Cuenta con talento humano altamente capacitado en el proceso de la producción de maquinaria inoxidable, para proporcionar un adecuado asesoramiento y el compromiso de satisfacción al cliente, brindando el mejor servicio con eficiencia y responsabilidad, ofreciendo diseño y elegancia en cada detalle de sus productos, comprometidos siempre con el cumplimiento de los estándares internacionales de la Norma EN ISO 14341:2011 y de las normativas vigentes de la legislación ecuatoriana (Sánchez 2019).



Ilustración 3-1: Ubicación de la empresa Proveedora Industrial

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Misión: “Satisfacer las necesidades tanto en el sector industrial como en el sector automotriz, con profesionales altamente calificados en su materia, con herramientas y una línea de productos amplia para influenciar el desarrollo del sector” (Sánchez 2019).

Visión: “Ser el Centro líder local en la comercialización buscando la implementación de la importación para agrandar la línea de productos y lograr el liderato regional” (Sánchez 2019).

3.2. Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es de carácter técnico que se realiza en el Área de la empresa Proveedora Industrial, donde se pretende diseñar un plan de mantenimiento para la identificar los parámetros que permitan realizar el monitoreo de la maquinaria con base a la norma JA1011. Para identificar el estado de la maquinaria se empleó datos estadísticos de años anteriores. Se pretende identificar políticas que deben implementarse en la organización para gestionar los modos de falla de un sistema o equipo. La metodología descrita en la normativa permite evaluar procesos para determinar si se puede implementar un plan de mantenimiento RCM mediante un diagnóstico de criterios mínimos (Campos et al. 2019).

3.3. Tipo de investigación

3.3.1. Investigación de enfoque mixta

Este proyecto en primera instancia se enfocó sobre una perspectiva mixta de análisis, pues tiene su origen en un modelo cualitativo como cuantitativo. Es decir, empleó una serie de datos y análisis de características para concretar la recopilación de información. Es acertado acotar que desarrollar un modelo encaminado a identificar los parámetros que permitan realizar el plan de mantenimiento.

3.3.2. Investigación aplicada

La investigación de tipo aplicada se identifica por poseer varias formas de aproximación a los resultados. Es decir, se permiten emplear varias herramientas con el propósito de identificar un problema y generar una serie de soluciones que respondan de manera efectiva ante tales solicitudes. Esta modalidad de investigación fue fundamental al momento de concretar las posibles causas de los fallos y de manera genérica identificar una manera de solucionarlos.

3.3.3. *Investigación descriptiva*

El presente proyecto técnico se aplica como una investigación descriptiva debido a que este permite identificar de mejor manera aquellas características relacionadas a los equipos y herramientas que existen en el área de la empresa Provedora Industrial, una vez que estos se han identificado se realiza la valoración de estos conforme a las normas y metodologías recomendadas.

3.3.4. *Investigación bibliográfica*

La investigación bibliográfica en la investigación se tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto basándose en los documentos y publicaciones existentes al respecto, las mismas que permitan hacer un vínculo entre los antecedentes históricos y lo actual, además del conocimiento de la normativa JA1011.

3.3.5. *Investigación de campo*

Para desarrollar el presente estudio se recomienda realizar una investigación de campo en las instalaciones del Área de la empresa Provedora Industrial, para poder recabar datos y conocer las actividades que se realizan en la misma. De esta manera llegando a definir aquellas características propias de la institución como: estructura, horas de trabajo, número de herramientas y maquinaria que forman parte de las condiciones de falla de los equipos, debido a que estos son los parámetros que se deben tratar para lograr un buen mantenimiento, la técnica de observación de campo permite una conexión directa con el problema lo que facilita la interpretación y nos ayuda a obtener un mejor análisis.

3.4. Metodología

El un diagrama de la metodología que se aplicara en el presente capítulo se denota en la ilustración 3-2.

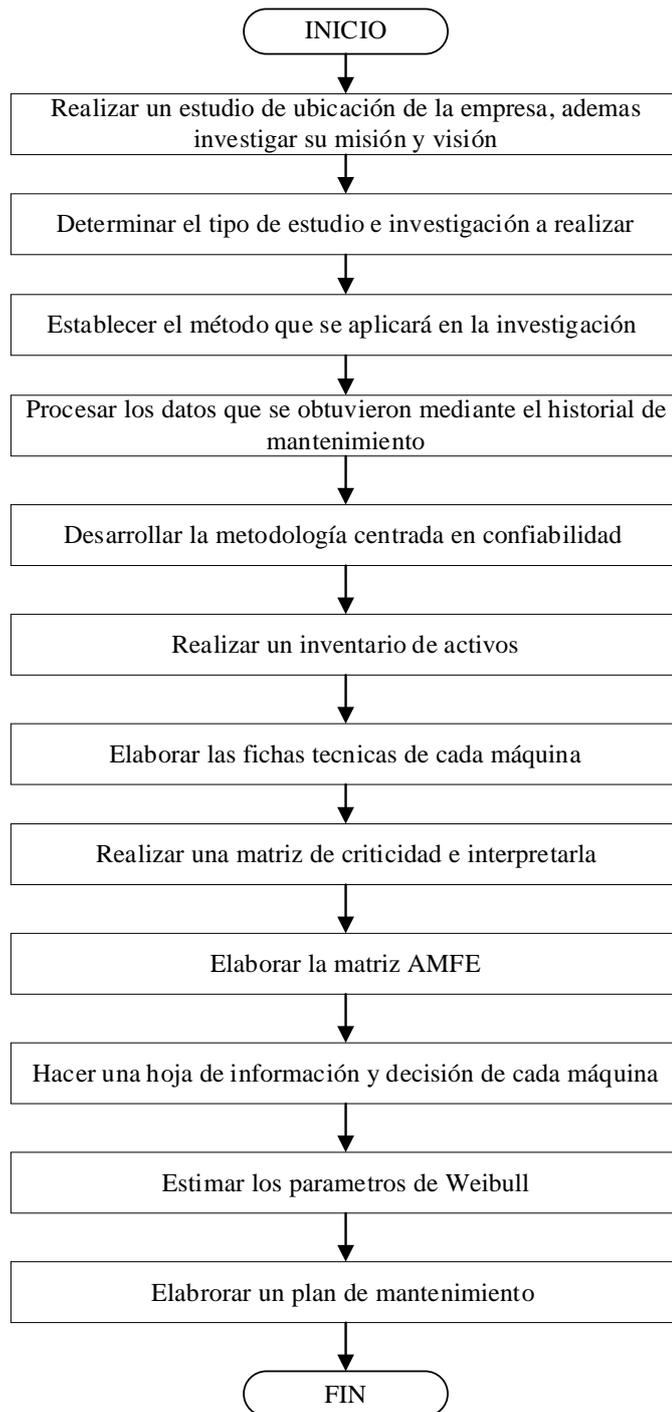


Ilustración 3-2: Diagrama de flujo desarrollo metodología

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.4.1. *Método deductivo-inductivo*

El método para aplicar será el inductivo puesto que, a partir del análisis de casos particulares y observaciones de la realidad, se extraerán conclusiones de carácter general. Es decir, en primera instancia se iniciará con la recolección de datos, en este caso del área de maquinado, se estudiará

cada caso y se formulara categorías de fallos de la maquinaria que englobaran características generales.

Debido a que las conclusiones siguen a las premisas, por lo tanto, los argumentos son verdades y las conclusiones acertadas se desarrollan el método deductivo-inductivo. En el presente proyecto de titulación las conclusiones de mejoras que se obtiene son mediante una investigación de campo donde se logró diseñar un plan de mantenimiento.

3.4.2. *Mantenimiento basado en confiabilidad RCM*

Bajo la normativa SAE J1011 se implementa la metodología de análisis de la información referente al mantenimiento. El proceso se compone de la descripción de las funciones de los equipos, fallas funcionales, modos de fallo, efectos de los fallos, categorías de la consecuencia de los fallos. Elaboración de políticas y el plan de mantenimiento del equipo (Campos et al. 2018).

La metodología de RCM, es la detallada en las normas SAE-JA 1011 y SAE-JA 1012. Sin embargo, para facilitar la aplicación de esta metodología en el área de maquinado de la empresa, se propone la metodología que se muestra en la Figura 1. La base del mantenimiento centrado en confiabilidad es que la implementación responda a las 7 preguntas de RCM (SAE: JA1011 1999) siendo obligatorio hacerlo en el orden que plantea la norma.

La aplicación de RCM se ejecutará mediante un grupo de trabajo conformado por quienes propusieron este estudio, jefe del área de maquinado, técnicos y operadores de las maquinarias en análisis (Campos et al. 2019).

En el caso de la pregunta 1: ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? es destacable el indicar que lo que se busca determinar es el contexto operacional y las funciones de los activos. Para ello se comenzará por estudiar el área de maquinado y con sus máquinas y herramientas; en primera instancia a través de un inventario y codificación que facilite el estudio, en segundo lugar, se determinará el estado técnico de la maquinaria. Además, se realizará una evaluación del personal del taller mediante encuestas de preguntas cerradas con la finalidad de comprender cuál es el conocimiento que tiene el personal con respecto a la maquinaria y su gestión de mantenimiento. En sí lo que se pretende con esto es tener un pleno conocimiento de los activos existentes y del contexto operacional en el cual operan.

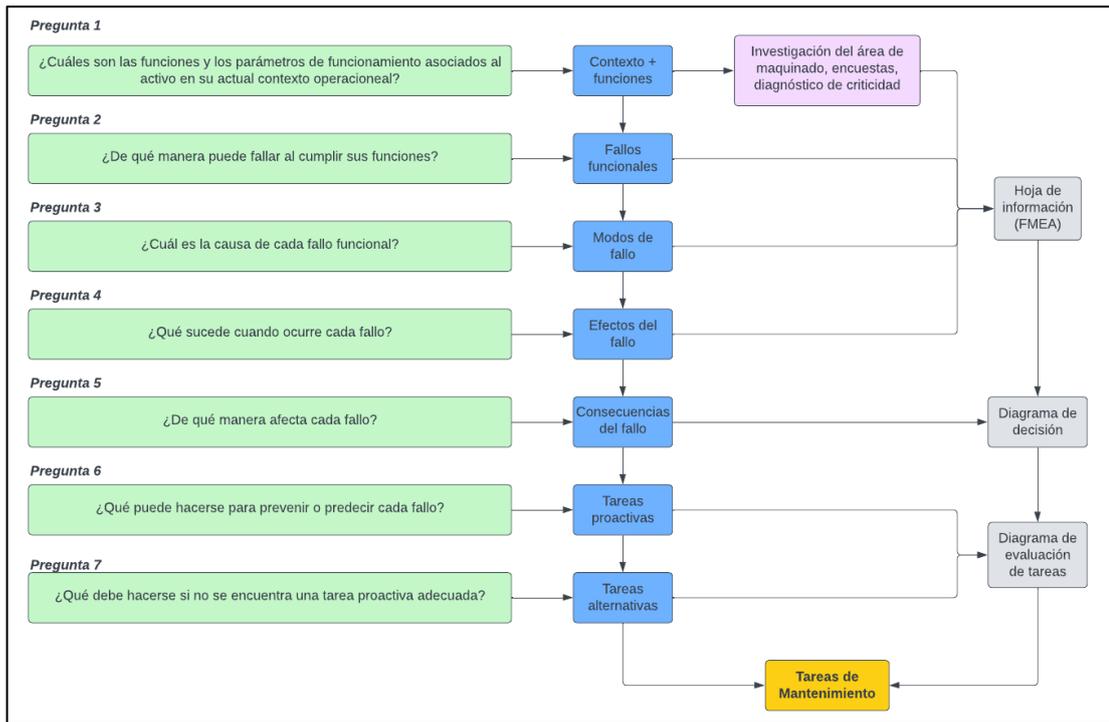


Ilustración 3-3: Diagrama de la metodología para la aplicación del RCM al área de maquinado

Fuente: (Campos et al. 2019, p.2).

Las preguntas 2, 3 y 4 se refieren específicamente a los fallos funcionales, modos de fallo y efectos de fallo, por lo que se realizará primero un análisis de criticidad, debido a los sistemas que tiene cada activo.

En sí la fundamentación de este trabajo es desarrollar la propuesta de planificación de mantenimiento basado en RCM a los activos críticos del área de maquinado. El análisis de criticidad permite obtener una jerarquía o priorización de los activos considerados de riesgo para facilitar la toma de decisiones. Se optó por utilizar la Ecuación 1, la Ecuación 2 y la matriz de criticidad mostrada en la ilustración 4. El análisis de criticidad se fundamenta en el estudio de las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos no deseados o fallas y sus consecuencias (Campos et al. 2019).

Criticidad Total = Frecuencia × Consecuencia **Ecuación 1:** Criticidad Total

De la Ecuación 1 se obtiene la Ecuación 2 en donde se detallan las variables que integran la cuantificación de la variable consecuencia.

Ecuación 2: Criticidad Total considerando variables para cuantificar la consecuencia.

$$\begin{aligned}
 \text{Criticidad Total} = & \text{Frecuencia} \times [(\text{Impacto operacional} * \text{Flexibilidad}) + \\
 & \text{Costo Mantenimiento} + \\
 & \text{Impacto de seguridad humana y ambiental}] \text{Consecuencia}
 \end{aligned}$$

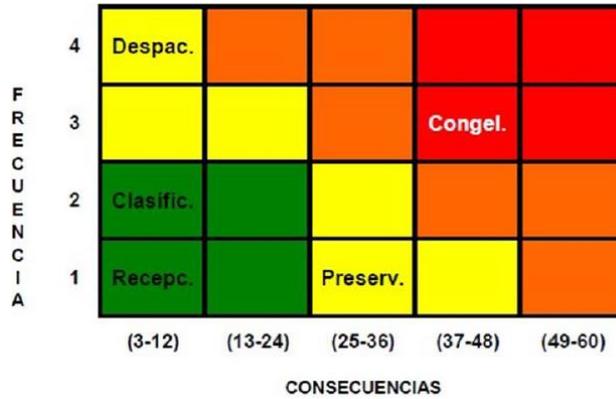


Ilustración 3-4: Matriz de Criticidad

Fuente: (Campos et al. 2019, p.4)

Al determinar cuál es la maquinaria más crítica se puede concentrar en la aplicación del análisis de modos de falla y efectos (AMFE) a los sistemas de los activos críticos en el área de maquinado, lo que procura que el estudio se concentre directamente en aquellos sistemas que afectan la confiabilidad.

El siguiente paso se centra en la aplicación de la pregunta 5: ¿De qué manera afecta cada fallo? Es decir, se determinarán las consecuencias del fallo y mediante el uso del diagrama de decisión RCM en las cuales se considera un análisis en torno a las consecuencias del fallo en cuatro categorías: Consecuencias de fallo oculto, consecuencias para la seguridad o medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales; para proponer tareas de mantenimiento. En este punto se responderá además las preguntas 6 y 7; siendo este el momento en el cual el grupo RCM decide cuáles son las tareas que se establecen en la propuesta de plan de mantenimiento y su frecuencia (Hernández 2018).

3.5. Procesamiento de Datos

A través de la información e historial de mantenimiento que se ha obtenido gracias al acceso por parte del Departamento Técnico de Mantenimiento se realiza entonces un análisis y procesamiento minucioso de las diferentes e importantes características que se dan al momento de realizar un informe de mantenimiento correctivo, como la frecuencia de fallo, costos de mantenimiento, elementos y sistemas que entran en un estado de fallo, y otros más.

Mismas características que ayudan posteriormente al análisis de la metodología RCM para así priorizar los fallos mediante un análisis de criticidad a través de distintos factores cualitativos los mismos que definen si un elemento es crítico y así poder generar un plan de mantenimiento eficiente enfocado a los problemas más susceptibles que posee la empresa, en este caso los elementos críticos.

Se procede entonces a realizar de forma técnica y ordenada la tabulación de toda la información contenida en los historiales de mantenimiento debido a que mediante esta técnica se permite obtener un mejor manejo y acceso al historial de la empresa que permita un mejor análisis y finalmente ayude a generar una solución acertada.

3.6. Desarrollo de la metodología centrada en la confiabilidad

3.6.1. *Situación actual de la planificación del mantenimiento*

Al determinar el estado actual de reparación estructural en la empresa, se han analizado varios procedimientos y políticas a seguir en la misma en materia de mantenimiento.

3.6.1.1. *Criterios para la evaluación del mantenimiento con base en la Norma SAE-JA1011*

La Norma SAE-JA1011 es un estándar reconocido internacionalmente que establece un sistema para evaluar y mejorar la calidad organizacional. Esta medida se utiliza para evaluar la eficacia y el alcance de los programas de atención existentes y brindar orientación para identificar áreas de mejora, la norma incluye los siguientes elementos:

- Liderazgo y gestión: Examina el compromiso y la participación de la alta dirección en el proceso, incluido el establecimiento de políticas, la asignación de recursos y la revisión del desempeño.
- Diseño y proyectos: Evalúa la disponibilidad y eficacia de los planes y programas de mantenimiento y la capacidad de pronosticar y planificar con precisión las actividades de mantenimiento.
- Ejecución y control: Valora la ejecución efectiva de las actividades de mantenimiento, como la asignación de recursos, la calidad de la ejecución del trabajo y el seguimiento del desempeño.
- Evaluación y mejora: Tiene la capacidad de la organización para medir y evaluar el desempeño del mantenimiento, identificar áreas de mejora e implementar acciones correctivas y preventivas de manera sistemática.

- Competencia y desarrollo del personal: Valora la competencia y el nivel de capacitación del personal de mantenimiento, así como los programas de desarrollo y capacitación actuales.
- Gestión de repuestos y materiales: Evalúa cómo se gestionan los repuestos y materiales utilizados en el mantenimiento, incluido el almacenamiento, la disponibilidad y la gestión de inventarios (Campos et al. 2019).

3.7. Inventario de activos

Para el desarrollo de la presente investigación es fundamental determinar el inventario de máquinas en la empresa objeto de estudio. Sin embargo, la empresa no cuenta con esta parte del fichero, por ende; la solo se categoriza la maquinaria y/o equipos destinados particularmente para el área de análisis. Es por este motivo que se requirió de una valoración gerencial al respecto de las máquinas a ser examinadas. Las destinadas responden a los siguientes nombres.

- Limadora
- Sierra de corte
- Taladro fresador
- Torno CNC
- Torno Paralelo
- Dobladora Hidráulica

3.7.1. Codificación de máquinas

La empresa no posee un modelo de codificación. En consecuencia, se idealiza la categoría ordinal de valoración comprendida entre 2 dígitos numéricos y dos alfabéticos.

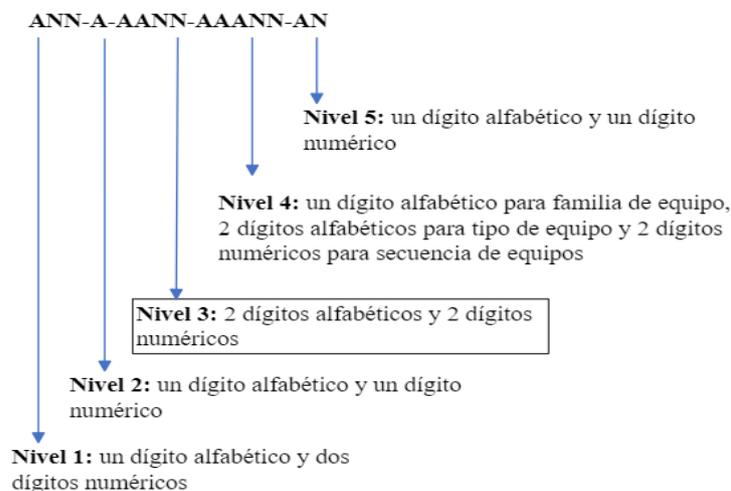


Ilustración 3-5: Codificación de máquinas

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Nota: El orden secuencial se mantiene para las seis máquinas de estudio con los prefijos de MA al ser máquinas de aplicabilidad diaria.

Tabla 3-1: Descripción de ficha

Código	Descripción
MA001	MA: máquina de aplicabilidad
	001: orden de análisis

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Por otro lado, la codificación de los elementos, partes o piezas mantienen los 5 dígitos acotados con anterioridad más el orden de pieza ordenado alfabéticamente; siendo este desde 001 a 020.

3.8. Árbol de maquinaria

En este apartado se idealiza y/o acotan la denominación de las máquinas con base el área y codificación en la cual se encuentran. En este punto se complementa la denominación de la ficha con base en el área de la máquina.

Tabla 3-2: Árbol de maquinaria

Máquina	Código	Área	Denominación de ficha
Limadora	MA001	Mecanizado	MAAM001
Sierra de cinta	MA002	Mecanizado	MAAM002
Taladro fresador	MA003	Torneado	MAAM003
Torno CNC	MA004	Torneado	MAAT004
Torno Paralelo	MA005	Torneado	MAAT005
Dobladora Hidráulica	MA006	Soldado	MAAS006

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez enlistadas cada una de las máquinas objeto de estudio es fundamental denotar como se efectúa el procedimiento para determinar la aplicabilidad de las acciones correctivas. Es necesario resaltar que, con el propósito de orientar el trabajo hacia la confiabilidad, a continuación; se muestra el diagrama de decisión para los elementos detallados en AMFE y Criticidad concerniente a los componentes críticos, semicríticos y no críticos de cada máquina. El proceso de mantenimiento se enfocó en las tipologías base de mantenimiento (preventivo y correctivo) para cada uno de los elementos.

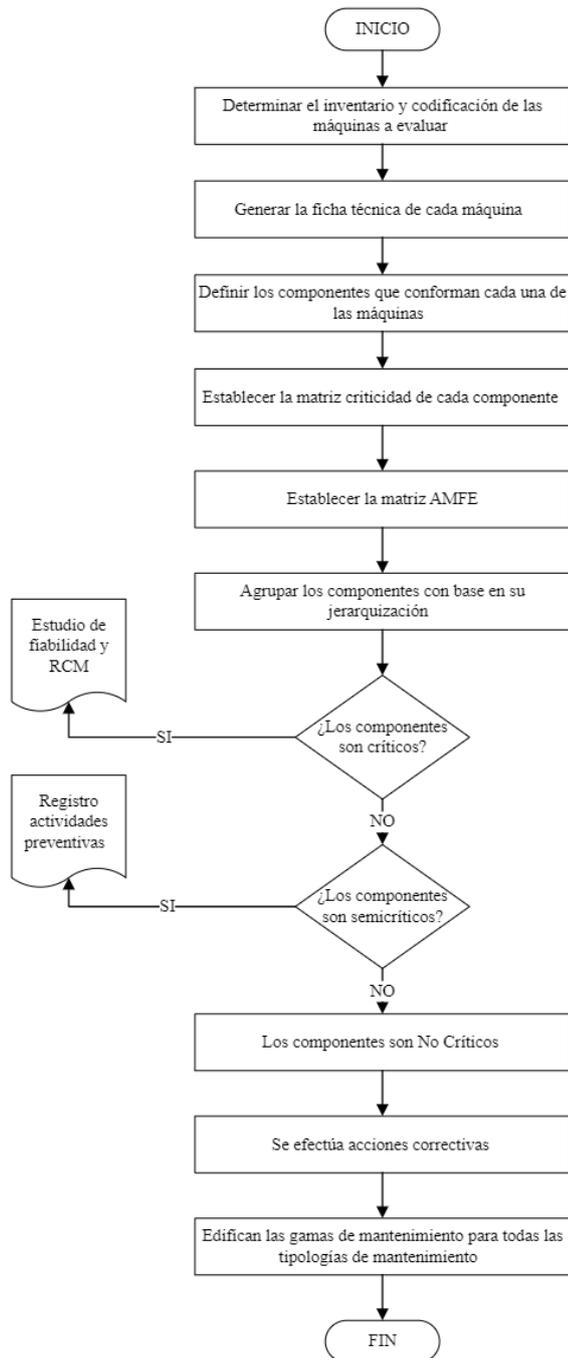


Ilustración 3-6: Diagrama de decisión

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.9. Ficha técnica

Una vez codificados los elementos y máquinas es necesario detallar las propiedades intrínsecas de cada una de las máquinas objeto de estudio. Las fichas se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 3-3: Ficha Técnica Limadora

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL				Fecha:	14/6/2023			
						Vigencia:	14/6/2024			
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS				Autor:	Francisco Villacís			
Máquina	x					Componente		Sistema		Área
Nombre	Limadora	Código	MA001							
Modelo	Modelo L/650E	Recorrido del cabezal	180 mm							
Cabezal de Herramienta	Giratorio	Porta herramientas	0.2-1 mm							
Avance	Automático	Distancia máxima de la mesa	405 mm							
Motor	5.5 Hp	Vice Apertura	270 x 220 mm							
Voltaje	380 Voltios	Velocidad	6							
Frecuencia	50 Hz	Peso	1.2 Ton							
Dimensiones	650x390x390 mm	Estado	Semi óptimo							
Función	Mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte									
Manual: https://dokumen.tips/documents/limadora-sacia-l650e-1.html?page=14										

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-4: Ficha Técnica Sierra de Cinta

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL				Fecha:	14/6/2023
						Vigencia:	14/6/2024
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS				Autor:	Francisco Villacís
Máquina	x					Componente	
Nombre	Sierra de Cinta	Código	MA002				
Modelo	RF-7121	Voltaje	220 V				
Serie	97LO721	Frecuencia	60 Hz				
Capacidad de corte redondo	175 mm	Velocidades de Cinta	29, 49, 75, 99 rpm				
Capacidad de corte rectangular	175 x 300 mm	Largo x Ancho	1305 x 485 mm				
Abertura máxima de la prensa	300 mm	Altura	1143mm				
Tamaño de cinta	93" x 3/4"	Peso	0.135 Ton				
Motor	1 Hp	Estado	Semi optimo				
Función	Cortar material de distintas dimensiones al respecto de sus geometrías						
Manual: https://www.tecnomaquinaria.com/producto/sierra-de-cinta-rf-712/							

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-5: Ficha Técnica Taladro Fresador

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			Fecha:	14/6/2023				
					Vigencia:	14/6/2024				
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS			Autor:	Francisco Villacís				
Máquina	x				Componente		Sistema		Área	
Nombre	Taladro Fresador	Código	MA003							
Modelo	ZX-50CF	Max. Fresado horizontal de día.	100 mm							
Serie	ZX-234B	Max. Fresadoras verticales de día.	32							
Voltaje	210 V	Cono de husillo	MT4, R8							
Frecuencia	50-60 Hz	Rango de velocidades de husillo	115-1750							
Dimensiones	1100 x 970 x 1650 mm	Viajes de husillo	120							
Max. La perforación de día.	50 Mm	Recorrido de la mesa	120							
Motor	1.5 Hp	Estado	Semi óptimo							
Función	Perforar y definir piezas geométricas con base en una medida especificada									
Manual:	https://es.made-in-china.com/co_chinaborui/product_Small-Taladro-Fresador-Machine-with-Ce-Certification-									

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.10. Componentes de la máquina

A continuación, se detallan cada uno de los componentes de cada máquina con el propósito de establecer la criticidad de cada componente.

Tabla 3-6: Descripción de componentes de la limadora

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			Fecha:	14/6/2023
					Vigencia:	14/6/2024
		LIMADORA			Autor:	Francisco Villacís
Código	Componentes				Función	Estado
MA001001	Cableado eléctrico	Transmitir la corriente eléctrica del sistema eléctrico hacia la máquina	Funcional	Cableado con cambios debido al tiempo		
MA001002	Caja de velocidad	Trasmitir el movimiento generado por el motor con el propósito de intensificarlo	Funcional	No se evidencia daños estructurales o ruidos extraños		
MA001003	Carro	Desplejar la herramienta de desbaste	Funcional	Elemento presenta atascos debido a limallas		
MA001004	Depósito principal	Almacenar el fluido de trabajo	Funcional	El depósito no presenta daños estructurales		
MA001005	Eje de curso	Transmitir el movimiento circular del sistema	Funcional	Eje en estado funcional		
MA001006	Eje movedor carnero	Alojar y mantener estable el carnero	Funcional	Eje en estado funcional		
MA001007	Embrague	Generar alivio al sistema de rotación del sistema	Funcional	Se evidencian ruidos extraños cada cierto periodo de tiempo		
MA001008	Empuñadura del tirante	Mantener estable el tirante	Funcional	La empuñadura presenta rasgaduras con base en el tiempo de la máquina		
MA001009	Excéntrica	Permitir el trabajo del eje a la par de mantenerlo equilibrado	Funcional	Excéntrica en estado funcional		
MA001010	Mango unión	Bloquear o activar el movimiento del brazo	Funcional	No presenta daños o averías		
MA001011	Manilla de excéntrica	Mantener estable el brazo de la máquina	Funcional	Manilla rasgada debido al uso		
MA001012	Motor	Impulsar el movimiento rotatorio del sistema	Funcional	Motor no presenta daños físicos evidentes		
MA001013	Pulsadores	Encender o apagar el sistema (control de mando)	Funcional	Pulsadores gastados con base en el uso excesivo		
MA001014	Regleta deslizante	Incrementar o disminuir la medida del brazo	Funcional	Regleta desgastada		
MA001015	Regilla de nivel de aceite	Permitir ingreso de aceite	Funcional	Regilla del nivel obstruida por remanentes		
MA001016	Tapón de llenado	Purgar el sistema	Funcional	Tapon desgastado		
MA001017	Tirante elevador	Incrementar o disminuir la altura del brazo	Funcional	Tirante presenta remanentes de daño		
MA001018	Tornillo fijación máximo- porta cuchillas	Alvergar y fijar la cuchilla	Funcional	Tornillo de fijación presenta daños		
MA001019	Tornillo tope	Gestionar el avance del contrapunto	Funcional	Tornillo presenta daños insignificantes		
MA001020	Visor de Nivel	Mostrar la cantidad del aceite del sistema	Funcional	Visor obstruido por remanentes de aceite.		
Análisis		Inspección Visual: La limadora presenta un desgaste totalmente gradual debido al tiempo de uso por ende, es fundamental el desarrollo de actividades que permitan mantener las máquinas activas y productivas. Entrevista:				

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-7: Descripción de componentes de la sierra de cinta

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		Fecha:	14/6/2023
		SIERRA DE CINTA		Vigencia:	14/6/2024
				Autor:	Francisco Villacís
#	Componentes	Función	Estado	Observaciones / condición	
MA002001	Anillo de elevación	Permitir el movimiento respecto al eje z del brazo cizalla	Funcional	Componete presenta ruidos al momento de trabajar	
MA002002	Bancada	Soportar el peso de los componetes de todo el sistema y mantenerlo estable.	Óptimo	Bancada presenta cierto desgaste que puede ser abordado por medio de limpieza y recubrimiento	
MA002003	Cableado eléctrico	Transmitir la corriente eléctrica del sistema eléctrico hacia la máquina	Funcional	Cableado con cambios (cortes, rasgaduras,) debido al tiempo	
MA002004	Caja de mandos	Transmitir la información de inicio de actividades en la máquina	Funcional	Caja deteriorada con base en el tiempo de uso	
MA002005	Depósito de taladrina	Alojar el fluido facilitador de trabajo y enfriamiento	Funcional	Depósito en excelente estado	
MA002006	Guarda Inferior	Albergar los componentes del brazo de cizalla	Funcional	Elementos recubiertos de polvo o remanentes del proceso	
MA002007	Guarda Superior	Alojar el cableado del sistema	Funcional	Elementos recubiertos de polvo o remanentes del proceso	
MA002008	Guía de corte	Guiar el corte con base en la profundidad deseada	Funcional	Guía recubierta de polvo	
MA002009	Guía de inglete	Guiar el corte con base en la longitud deseada	Funcional		
MA002010	Hoja de sierra	Cortar por desprendimiento de material	Funcional	Hoja de sierra desgastada	
MA002011	Interruptor	Permitir el ingreso de la carga eléctrica al sistema	Funcional	Interruptor requiere de cambios	
MA002012	Mordaza	Alojar la pieza de corte	Funcional	Mordza desgastada	
MA002013	Motor	Convertir energía eléctrica en mecánica	Funcional	Motor presenta corrosión en su estructura	
MA002014	Polea Motriz	Transmitir el movimiento generado por el motor	Funcional	Polea en excelente estado	
MA002015	Regulador de taladrina	Dosificar la cantidad de taladrina de la máquina	Funcional	Dosificador en estado aceptable	
MA002016	Riel guía	Alinear el brazo de corte	Funcional	Riel presenta golpes	
MA002017	Tope	Definir el límite de trabajo de pieza	Funcional	Tope presenta golpes por el uso de materiales	
MA002018	Ventana de tensión	Tensionar el sistema de transmisión de fuerza	Funcional	Componetes en estado adecuado de trabajo	
MA002019	Volante de ajuste	Transmitir la fuerza de avance del mecanismo	Funcional		
MA003020	Volante de apriete	Dosificar la cantidad de esfuerzo generado por la máquina	Funcional		
Análisis		Inspección Visual: Es fundamental destacar que la máquina en cuestión presenta daños obvios en base los años de usos por lo cual es imprescindible un mantenimiento enfoca en la disponibilidad. Por otro lado, de igual manera es necesario aplicar ciertas actividades diarias como es el caso de una limpieza integral de la máquina cuando menos una vez por semana.			
		Entrevista:			

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.11. Matriz Criticidad

Una vez establecidos los componentes que conforman cada una de las máquinas de estudio, es necesario destacar el nivel jerárquico de atención que cada elemento. Sin embargo, en primera instancia se resaltan las consideraciones a evaluar a la par de las valoraciones de cada aspecto.

Tabla 3-8: Valoración de la matriz criticidad

VALORACIONES	
FRECUENCIA DE FALLAS	VALOR
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4
Promedio 2-4 fallas/año	3
Buena 1-2 fallas/año	2
Excelentes menores de 1 falla/año	1
IMPACTO OPERACIONAL	Valor
Parada inmediata total	10
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otro	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4
Repercute en costos operacionales adicionales asociados	2
No genera ningún efecto significativo sobre la operación	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	Valor
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	Valor
Mayor o igual a 120 USD	2
Inferior a 120 USD	1
IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE	Valor
Afecta a la seguridad humana tanto externa como internamente	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola ninguna ley	1

Fuente: (Road, Trooper, 2012, p. 23)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

$$\text{Total} = (\text{Io} * \text{F}) + \text{C} + \text{I}$$

Ecuación 3: Valor previo al cálculo de criticidad

Donde:

- Total: Valor previo al cálculo de criticidad
- Io: Impacto operacional
- F: Flexibilidad
- C: Costos de mantenimiento
- I: Impacto de salud

$$\text{Criticidad} = \text{Fr} * \text{Total}$$

Ecuación 4: Criticidad

- Criticidad: Determinar qué tan afectado resulta el componente
- Fr: Frecuencia en la que ocurren los fallos

Tabla 3-9: Rangos de valoración de la matriz criticidad

Crítico	> 14
Semi crítico	12 a 14
No Crítico	< 12

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-10: Valoración de la matriz criticidad de la Limadora

	N°. Matriz Criticidad:		Máquina:	Limadora	<h1>Matriz Criticidad</h1>			
	Responsable:		Subsistema:					
	Elaborador por:		Fecha de Elaboración:					
	Revisado por:		Fecha de revisión:					
Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA001001	Cableado eléctrico	10	1	1	1	12	1	12
MA001002	Caja de velocidad	6	2	2	1	15	1	15
MA001003	Carro	6	2	2	1	15	2	30
MA001004	Depósito principal	6	2	2	1	15	1	15
MA001005	Eje de curso	10	2	2	1	23	2	46
MA001006	Eje movedor carnero	10	1	2	1	13	1	13
MA001007	Embrague	10	1	2	1	13	2	26
MA001008	Empuñadura del tirante	4	1	1	1	6	1	6
MA001009	Excéntrica	6	1	1	1	8	2	16
MA001010	Mango unión	4	1	1	1	6	1	6
MA001011	Manilla de excéntrica	4	1	1	1	6	2	12
MA001012	Motor	10	1	1	1	12	1	12
MA001013	Pulsadores	2	1	1	1	4	2	8
MA001014	Regleta deslizante	2	1	2	1	5	2	10
MA001015	Reglilla de nivel de aceite	2	1	2	1	5	2	10
MA001016	Tapón de llenado	2	2	1	2	7	2	14
MA001017	Tirante elevador	2	1	1	1	4	1	4
MA001018	Tornillo fijación máximo-porta cuchillas	2	1	1	1	4	1	4
MA001019	Tornillo tope	10	1	1	1	12	2	24
MA001020	Visor de Nivel	4	1	1	1	6	1	6

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-11: Valoración de la matriz criticidad de la Sierra de Cinta

	Nº. Matriz Criticidad:	Máquina:	Sierra de cinta		<h1>Matriz Criticidad</h1>			
	Responsable:	Subsistema:						
	Elaborador por:	Fecha de Elaboración:						
	Revisado por:	Fecha de revisión:						
Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA002001	Anillo de elevación	6	1	2	1	9	2	18
MA002002	Bancada	6	2	2	1	15	2	30
MA002003	Cableado eléctrico	4	2	2	1	11	2	22
MA002004	Caja de mandos	4	2	1	2	11	1	11
MA002005	Depósito de taladrina	10	2	1	1	22	1	22
MA002006	Guarda Inferior	10	1	1	1	12	1	12
MA002007	Guarda Superior	4	1	1	1	6	1	6
MA002008	Guía de corte	4	1	1	1	6	1	6
MA002009	Guía de inglete	6	1	2	1	9	2	18
MA002010	Hoja de sierra	4	1	2	1	7	2	14
MA002011	Interruptor	4	2	2	1	11	2	22
MA002012	Mordaza	6	2	2	1	15	2	30
MA002013	Motor	2	1	1	1	4	1	4
MA002014	Polea Motriz	2	1	1	1	4	1	4
MA002015	Regulador de taladrina	2	1	1	1	4	1	4
MA002016	Riel guía	1	2	1	2	5	2	10
MA002017	Tope	1	1	1	1	3	2	6
MA002018	Ventana de tensión	2	1	1	1	4	1	4
MA002019	Volante de ajuste	10	1	2	1	13	2	26
MA003020	Volante de apriete	4	1	1	1	6	1	6

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.11.1. Interpretación de la matriz criticidad

Con base en el análisis de la limadora industrial se puede acotar que actualmente la máquina posee 7 elementos críticos, 5 elementos semicríticos y, por último, 8 elementos no críticos. Es importante resaltar que la categorización se efectuó con base en promedio de NPR dentro de la investigación. Estos elementos serán abordados de manera más compleja al momento de establecer las actividades correctivas. Por otro lado, la sierra de cinta denota poseer 8 elementos críticos, 2 elementos semicríticos y 10 elementos no críticos. En el caso del taladro fresador, el análisis muestra que dentro de la máquina existen 9 elementos críticos, 4 elementos semicríticos y 7 elementos no críticos.

Continuando con el análisis se presenta el caso del torno CNC, esta evidencia 9 elementos críticos, 4 elementos semicríticos y; por último, 7 elementos y/o componentes no críticos. Para el caso del torno paralelo, se evidenciaron 8 componentes críticos, 5 semicríticos y 7 elementos no críticos. Por último, pero no menos importante se analizó la dobladora hidráulica, misma que presenta 7 elementos críticos, 3 semicríticos y 10 no críticos. Es fundamental mencionar que cada uno de ellos deberá ser analizado de manera global en el análisis de las actividades correctivas. Sin embargo, en primera instancia se analizó el contexto en el cual se desarrollan las máquinas y sus respectivas actividades.

3.12. Contexto operacional

Se define el contexto operacional de cada máquina una vez que se han seleccionado las máquinas a analizar. Los siguientes son los parámetros que se deben considerar al definir el contexto operacional:

- Funcionamiento
- Aspectos climáticos
- Normas y reglamentos
- Proceso y operación
- Afecciones medioambientales
- Riesgos a la seguridad

A continuación, se define el contexto operacional de las máquinas previamente descritas y analizadas de manera crítica.

Tabla 3-12: Contexto Operacional Limadora

Máquina: Limadora	Código: MAAM001
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	La máquina limadora sirve para mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte, tiene un recorrido de cabezal de 180mm de avance automático y distancia máxima de la mesa de 405mm.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	El departamento de seguridad y el departamento de producción crearon un reglamento interno para el manejo de la máquina, el cual establece que los empleados deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad, protectores auditivos, guantes resistentes y calzado de seguridad, dependiendo de los riesgos presentes en la máquina limadora.
PROCESO Y OPERACIÓN	El proceso de operación de una máquina limadora implica ajustar la velocidad y el recorrido de la herramienta, fijar la pieza de trabajo en la mesa y seleccionar el tipo adecuado de herramienta de corte. Una vez configurada, la máquina se pone en funcionamiento, desplazando la herramienta de corte de manera repetitiva en un movimiento lineal para remover el material no deseado de la pieza, logrando la forma y acabado deseados.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	Durante el proceso de limado, se generan virutas y otros desechos metálicos. Estos residuos deben ser gestionados adecuadamente para su reciclaje o disposición final, evitando su liberación en el medio ambiente y minimizando el impacto ambiental.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	Los riesgos incluyen el atrapamiento de extremidades o prendas en las partes móviles de la máquina, el contacto con la herramienta de corte que puede causar cortes o amputaciones, la proyección de virutas y partículas metálicas que pueden lesionar los ojos o la piel, el riesgo de accidentes por caídas al manipular piezas pesadas o al subirse a la máquina, la exposición al ruido y las vibraciones que pueden provocar daños en la audición y trastornos musculoesqueléticos, y la posibilidad de incendios o explosiones si no se manejan correctamente los lubricantes o refrigerantes.

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-13: Contexto Operacional Sierra de Cinta

Máquina: Sierra de Cinta	Código: MAAM002
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	Su funcionamiento implica el movimiento lineal de una herramienta de corte hacia adelante y hacia atrás sobre una pieza de trabajo fijada en una mesa. Este movimiento de vaivén de la herramienta de corte permite eliminar material de la pieza, logrando así la forma y acabado deseado.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	El departamento de seguridad y el departamento de producción crearon un reglamento interno para el manejo de la máquina, el cual establece que los empleados deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad y protectores auditivos, y se establezcan pautas para la manipulación segura de las piezas y la limpieza de la zona de trabajo.
PROCESO Y OPERACIÓN	El proceso comienza ajustando la velocidad y tensión de la cinta según el material a cortar. Luego, se selecciona la longitud y el ancho de corte requeridos. La pieza de trabajo se coloca sobre una mesa de trabajo ajustable, y se asegura firmemente para evitar movimientos indeseados. Al encender la sierra, la cinta dentada gira continuamente, y se desplaza hacia abajo a través del material, realizando el corte deseado.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	Las virutas y otros desechos metálicos se producen durante el proceso de limado. Estos desechos deben gestionarse adecuadamente para su reciclaje o disposición final, evitando su liberación en el medio ambiente y minimizando el impacto ambiental.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	Existen varios peligros asociados, como el riesgo de atrapamiento de extremidades o prendas en la cinta o partes móviles de la máquina, la posibilidad de contacto no deseado con la cuchilla dentada, que puede ocasionar cortes o amputaciones, la proyección de virutas o fragmentos de material, la posibilidad de accidentes al manipular piezas largas o al subirse a la máquina, así como la exposición al ruido y las vibraciones, que pueden tener consecuencias negativas en la audición y generar trastornos musculoesqueléticos.

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Por otro lado, a continuación, se enlistan las preguntas concernientes al RCM de dos máquinas tomadas como muestra. Estas corresponden a la Limadora y Sierra de Cinta. Sin embargo, en primera instancia se enlistan las consideraciones abordadas para responder estas preguntas; dar una solución a las premisas planteadas solo puede ser abordada desde la matriz AMFE.

3.13. Matriz AMFE

La matriz de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es una metodología utilizada para calcular y prever posibles problemas en un producto que aún se encuentra en fase de diseño. Su objetivo es garantizar la fiabilidad, seguridad y conformidad del producto con los requisitos funcionales establecidos por el cliente para el nuevo producto mediante la inclusión de todas sus piezas y características desde el principio. Los fallos provocan una serie de sobrecostos en el

producto, como una disminución del rendimiento o una parada imprevista de una de las funciones que se desarrollaron o analizaron, lo que da lugar a una serie de quejas del cliente (Moubray 2004).

Cualquier circunstancia que pueda conducir al fallo de un activo físico, sistema o proceso podría denominarse modo de fallo. Sin embargo, como se indica en el capítulo 3, es ambiguo y excesivamente simplista referirse a un activo físico como "fallo" en un sentido genérico. Es mucho más preciso diferenciar entre un "fallo funcional" (un estado de fallo) y un "modo de fallo" (un suceso que puede desencadenar un estado de fallo) (Moubray, 2000).

Tabla 3-14: Clasificación de la gravedad basada en el fallo

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja. Repercusiones imperceptibles	No es razonable que este fallo de pequeña importancia origina efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Bajo. Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observara 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 observara 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 la seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Fuente: (Bestratén, Orriols y Mata 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-15: Clasificación de la frecuencia de fallo

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 previstos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-6
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	7-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: (Bestratén, Orriols y Mata 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-16: Clasificación de la detectabilidad

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy probable 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 posteriormente	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 detectado 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

Fuente: (Bestratén, Orriols y Mata 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez establecidas las consideraciones para validar el modo de fallo de las máquinas, es fundamental establecer el análisis de la Limadora con base en el RCM.

**3.13.1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo?
(Limadora)**

Para esta pregunta en especial fue necesario una valoración por medio de una entrevista al técnico de la empresa. A continuación, se enlista la función de la limadora.

Función: Mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte.

Estándar: Trabajar el mínimo de 8 horas diarias.

3.13.2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

Las maneras en las cuales puede fallar la máquina tienen que ver con el tiempo de operación de la máquina objeto de estudio. Dentro de las importantes se enlistan las siguientes:

- La producción se ve comprometida (las piezas no son desbastadas).
- La máquina presenta un traqueteo.
- El proceso de desbaste es intermitente.

3.13.3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?

En la tabla 29.- mostrada deja en evidencia los modos de fallo concernientes a las fallas de la limadora dentro del estudio de su contexto operacional. Las más importantes se denotan como disminución de producción y fuera de servicio.

Tabla 3-17: Modo de fallo de la limadora

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla
A	Limadora presenta disminución en el nivel de producción	1	Herramienta de trabajo atrofiada
		2	Daños estructurales en la Bancada
		3	Brazo de trabajo estancado
B	La máquina presenta un traqueteo.	1	La exentica presenta holgura
		2	Eje de la máquina agrietado
C	Limadora fuera de servicio	1	Cableado de la máquina en mal estado
		2	Motor de la máquina quemado
		3	Contrapunto estancado
		4	Nivel de aceite en cero

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.13.4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?

Cada falla funcional presenta una serie de efectos dentro de la máquina. En la tabla 30 se presentan los efectos. Es importante resaltar que cada modo de fallo genera un efecto y desde ese punto la máquina puede presentar daños leves como severos.

Tabla 3-18: Efectos de la falla

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla	Efecto de Falla
A	Limadora presenta disminución en el nivel de producción	1	Herramienta de trabajo atrofiada	El proceso de desbaste es intermitente pues la herramienta no responde
		2	Daños estructurales en la Bancada	La máquina presenta un desbalance debido a la pérdida de la integridad de la máquina
		3	Brazo de trabajo estancado	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales
B	La máquina presenta un traqueteo.	1	La exentica presenta holgura	La máquina presenta un ruido metálico generado entre el brazo y a pieza
		2	Eje de la máquina agrietado	Los rodamientos de la máquina presentan desgaste y deben ser reemplazados en un tiempo no característico
C	Limadora fuera de servicio	1	Cableado de la máquina en mal estado	El sistema no tiene alimentación (voltaje)
		2	Motor de la máquina quemado	El proceso de desbaste es interrumpido debido a elementos quemados
		3	Contrapunto estancado	
		4	Nivel de aceite en cero	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales

Fuente:(Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.13.5. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?

En este punto es fundamental establecer si existe consecuencias ante el fallo; operacional (afecciones en la producción), no operacionales (no afectan a la producción ni a la seguridad sin embargo afecta económicamente a la empresa, seguridad (daños en el bienestar físico en los operarios), ambientales (incumple alguna normativa). La tabla 31.- presenta las consecuencias de los modos de falla, cada uno de estos se permite denotar una falla en la máquina dentro de su contexto operativo.

Tabla 3-19: Consecuencias de la falla

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia
A	Limadora presenta disminución en el nivel de producción	1	Herramienta de trabajo atrofiada	El proceso de desbaste es intermitente pues la herramienta no responde	Operacional
		2	Daños estructurales en la Bancada	La máquina presenta un desbalance debido a la pérdida de la integridad de la máquina	Operacional
		3	Brazo de trabajo estancado	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales	Operacional
B	La máquina presenta un traqueteo.	1	La exentica presenta holgura	La máquina presenta un ruido metálico generado entre el brazo y a pieza	Seguridad
		2	Eje de la máquina agrietado	Los rodamientos de la máquina presentan desgaste y deben ser reemplazados en un tiempo no característico	Operacional
C	Limadora fuera de servicio	1	Cableado de la máquina en mal estado	El sistema no tiene alimentación (voltaje)	Operacional
		2	Motor de la máquina quemado	El proceso de desbaste es interrumpido debido a elementos quemados	Operacional
		3	Contrapunto estancado		Operacional
		4	Nivel de aceite en cero	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales	Operacional

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.13.6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?

En este punto en especial es necesario definir; estrategias, actividades correctivas, frecuencia de ejecución y el responsable para evitar cada uno de los fallos. La metodología del RCM proporciona un diagrama de decisión con el que se puede definir las actividades correctivas para solventar cada uno de los fallos acotados con antelación.

3.13.7. ¿Qué se debe hacer en caso de que una falla continúe?

En este aspecto en particular es fundamental acotar que un modelo de plan de mantenimiento debe ser elaborado. Este plan en esencia debe responder a cada una de las fallas de la máquina, disminuir el tiempo de reparación y proponer una serie de actividades (preventivas, correctivas y predictivas) que permitan elevar la disponibilidad de las máquinas. Verificar el punto 3.17.

3.14. Hoja de información y decisión de la Limadora

En la tabla 30 se presenta la hoja de información de la limadora y en la tabla 31 se presenta la hoja de decisión de la misma máquina. Es necesario destacar que tanto la hoja de información como decisión de las máquinas restantes se encuentran en los anexos B y C respectivamente.

Tabla 3-20: Hoja de información de la Limadora

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ANÁLISIS AMFE DE LA MÁQUINA								
Hoja de Información RCM		Sistema/Activo			Sistema N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°		
		LIMADORA				Villacis F.				
		Sub-Sistema/Componente			Subsistema N°	Auditor:	Fecha:	De:		
Máquina	Función	Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla					
Limadora	1	A	Limadora presenta disminución en el nivel de producción	1	Herramienta de trabajo atrofiada	El proceso de desbaste es intermitente pues la herramienta no responde				
				2	Daños estructurales en la Bancada	La máquina presenta un desbalance debido a la pérdida de la integridad de la máquina				
				3	Brazo de trabajo estancado	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales				
			B	La máquina presenta un traqueteo	1	La exentica presenta holgura	La máquina presenta una ruido metálico generado entre el brazo y a pieza			
					2	Eje de la máquina agrietado	Los rodamientos de la máquina presentan desgaste y deben ser reemplazados en un tiempo no característico			
					C		Limadora fuera de servicio	1	Cableado de la máquina en mal estado	El sistema no tiene alimentación (voltaje)
		2	Motor de la máquina quemado	El proceso de desbaste es interrumpido debido a elementos quemados						
		3	Contrapunto estancado							
		4	Nivel de aceite en cero	La máquina debe ser parada en instancias no consensuales						

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-21: Hoja de decisión de la Limadora

 																	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO																	
HOJA DE DECISIÓN: LIMADORA																	
HOJA DE DECISIÓN RCM		Sistema/Activo						Sistema N°			Facilitador: Villacis F		Fecha:	Hoja N°			
		Sub-Sistema/Componente						Subsistema N°			Auditor		Fecha:	De:			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de					TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
							S1	S2	S3								
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3								
1	A	1	S	N	N	S	N							Inspección del nivel de la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	2	S	N	N	S	N							Inspección y aplicación de recubrimiento en la bancada	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	A	3	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y montaje del brazo de trabajo	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	B	1	S	S			N							Reemplazo de la excéntrica	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	2	S	N	N	S	N							Inspección del eje de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	S	N							Inspección y reemplazo del cableado de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	C	2	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y montaje del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	3	S	N	N	S	N							Inspección visual y limpieza del contrapunto	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	
1	C	4	S	N	N	S	N							Verificación y colocación de aceite en la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.14.1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo? (Sierra de Cinta)

Para esta pregunta en especial fue necesario una valoración por medio de una entrevista al técnico de la empresa. Los resultados denotan la siguiente información.

Función: Cortar material de distintas dimensiones al respecto de sus geometrías

Estándar: Trabajar el mínimo de 6 horas diarias.

3.14.2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

Las maneras en las cuales puede fallar la máquina son enlistadas con base en las circunstancias en las cuales se desarrolla la máquina.

- La máquina presenta vibraciones.
- Defectos de calidad en la pieza de trabajo.
- El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción.

3.14.3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?

En la tabla 34.- se denotan los modos de fallo concernientes a las fallas concernientes a la Sierra de cinta.

Tabla 3-22: Modo de fallo de la sierra de Cinta

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla
A	La máquina presenta vibraciones	1	La máquina presenta un desbalance
		2	Caja de mando rota
B	Defectos de calidad en la pieza de trabajo.	1	Polea estancada
		2	Riel guía descentrado
C	El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción	1	Tope roto y desalineado
		2	Motor quemado
		3	Cable roto o quemado

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.14.4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?

Cada falla funcional presenta una serie de efectos dentro de la máquina. En la tabla 35 se presentan los efectos para los componentes críticos.

Tabla 3-23: Efectos de la falla

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla	Efecto de Falla
A	La máquina presenta vibraciones	1	La máquina presenta un desbalance	La máquina presenta ruidos de naturaleza metálica al presentar una inclinación
		2	Caja de mando rota	Las guardas presentan un cascabeleo debido a la inexistencia de elementos de sujeción
B	Defectos de calidad en la pieza de trabajo.	1	Polea estancada	El corte de la pieza no es estable o recto
		2	Riel guía descentrado	El proceso de corte se desvía con respecto a la medida final de la pieza
C	El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción	1	Tope roto y desalineado	La máquina presenta fallas intermitentes
		2	Motor quemado	La máquina está obsoleta
				El proceso de producción debe permanecer en espera hasta su mantenimiento
		3	Cable roto o quemado	El motor no tiene alimentación (energía)
Riesgo de choque eléctrico debido a cables expuestos y a la manipulación del operario				

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.14.5. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?

En este punto es fundamental establecer si existe consecuencias ante el fallo; operacional (afecciones en la producción), no operacionales (no afectan a la producción ni a la seguridad sin embargo afecta económicamente a la empresa, seguridad (daños en el bienestar físico en los operarios), ambientales (incumple alguna normativa). La tabla 36.- presenta las consecuencias de los modos de falla.

Tabla 3-24: Consecuencias de la falla

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia
A	La máquina presenta vibraciones	1	La máquina presenta un desbalance	La máquina presenta ruidos de naturaleza metálica al presentar una inclinación	Operacional
		2	Caja de mando rota	Las guardas presentan un cascabeleo debido a la inexistencia de elementos de sujeción	Operacional
B		1	Polea estancada	El corte de la pieza no es estable o recto	Operacional

N°	Falla Funcional	N°	Modos de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia
	Defectos de calidad en la pieza de trabajo.	2	Riel guía descentrado	El proceso de corte se desvía con respecto a la medida final de la pieza	Operacional
C	El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción	1	Tope roto y desalineado	La máquina presenta fallas intermitentes	Operacional
		2	Motor quemado	La máquina está obsoleta	Operacional
				El proceso de producción debe permanecer en espera hasta su mantenimiento	Operacional
		3	Cable roto o quemado	El motor no tiene alimentación (energía)	Operacional
				Riesgo de choque eléctrico debido a cables expuestos y a la manipulación del operario	Operacional

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.14.6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?

En este punto en especial es necesario definir; estrategias, actividades correctivas, frecuencia de ejecución y el responsable para evitar cada uno de los fallos. La metodología del RCM proporciona un diagrama de decisión con el que se puede definir las actividades correctivas para solventar cada uno de los fallos acotados con antelación.

3.14.7. ¿Qué se debe hacer en caso de que una falla continúe?

En este aspecto en particular es fundamental acotar que un modelo de plan de mantenimiento debe ser elaborado. Este plan en esencia debe responder a cada una de las fallas de la máquina, disminuir el tiempo de reparación y proponer una serie de actividades (preventivas, correctivas y predictivas) que permitan elevar la disponibilidad de las máquinas.

3.15. Hoja de información y decisión de la Sierra de Cinta

En la tabla 35 se presenta la hoja de información de la limadora y en la tabla 36 se presenta la hoja de decisión de la misma máquina. Es necesario destacar que tanto la hoja de información como decisión de las máquinas restantes se encuentran en los anexos B y C respectivamente.

Tabla 3-25: Hoja de información de la Sierra de Cinta

Máquina		Función	Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla	
Sierra de cinta	1	Cortar material de distintas dimensiones al respecto de sus geometrías	A	La máquina presenta vibraciones	1	Maquina no esta nivelada	La máquina presenta ruidos de naturaleza metálica al presentar una inclinación
					2	Guardas de la máquina flojas	Las guardas presentan un cascabeleo debido a la inexistencia de elementos de sujeción
			B	Defectos de calidad en el pieza de trabajo	1	Polea estancada	El corte de la pieza no es estable o recto
					2	Riel guía descentrado	El proceso de corte se desvía con respecto a la medida final de la pieza
			C	El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción	1	Tope roto y desalineado	La máquina presenta fallas intermitentes
					2	Motor quemado	La máquina esta obsoleta El proceso de producción debe permanecer en espera hasta su mantenimiento
					3	Cable roto o quemado	El motor no tiene alimentación (energía) Riesgo de choque eléctrico debido a cables expuestos y a la manipulación del operario

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-26: Hoja de decisión de la Sierra de Cinta

  																	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO																	
HOJA DE DECISIÓN: SIERRA DE CINTA																	
HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema/Activo				Sistema N°			Facilitador: Villacís F			Fecha:	Hoja N°			
			Sub-Sistema/Componente				Subsistema N°			Auditor			Fecha:	De:			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de					TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
							S1	S2	S3								
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3					
1	A	1	S	N	N	S	N							Inspección del nivel de la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	2	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y ajuste de la guarda	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	
1	B	1	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y montaje de la polea	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	2	S	N	N	S	N							Desmontaje, limpieza y centrado del riel guía	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	S	N							Reemplazo del tope	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	2	S	N	N	S	N							Inspección y rebobinado del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	3	S	N	N	S	N							Inspección visual del cableado de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento	

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.16. Estimación de parámetros de Weibull

La distribución del Weibull es un modelo exponencial con incidencia en la valoración de una probabilidad orientada a los problemas industriales con el objetivo de predecir fallas. Esto se consigue mediante el análisis estadístico de la máquina, así como la recolección de datos. Weibull puede tomar dos metodologías, método matemático y método gráfico (Ma y Del Pino 1994). A continuación, se enlista cada uno de ellos.

3.16.1. Modelo matemático Weibull primera intervención

En este modelo se pueden encontrar con las siguientes ecuaciones:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t_0 - \gamma}{a} \right)^{1/\beta} \right] \quad \text{Ecuación 5: Fiabilidad}$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ecuación 6: Infiabilidad}$$

Donde:

- R(t): Fiabilidad
- F(t): Infiabilidad o función acumulativa
- β : Parámetro de forma
- α : parámetro de escala
- γ : Parámetro de localización
- T_0 : Tiempo de operación

Nota: El parámetro de localización será denotado como cero dado que este indica el tiempo a partir del cual se genera la distribución. Es decir, toma el valor de número de veces en las cuales se haya aplicada la distribución dentro del plan.

Otros parámetros de análisis se exponen a continuación: media aritmética (\bar{x}), varianza (S^2), desviación estándar (S), tiempo de falla de cada evento (t_i) y número de datos del evento (n).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_0)}{n} \quad \text{Ecuación 7: Media aritmética}$$

$$S^2 = \frac{(\sum \ln(t_0) - \bar{x})^2}{(n - 1)} \quad \text{Ecuación 8: Varianza}$$

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{Ecuación 9: Desviación estándar}$$

$$\beta = \frac{\pi}{s\sqrt{6}}$$

Ecuación 10: Parámetro de forma

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right)$$

Ecuación 11: Parámetro de escala

Donde:

- To= tiempo de operación (h)
- β = Parámetro de forma
- γ = Parámetro de localización
- n= parámetro calculado del papel de Weibull

A continuación, se enlista en detalle cada uno de los valores para estimar de una manera más puntual la disponibilidad de cada una de las máquinas objeto de estudio.

3.16.1.1. *Análisis de Weibull, confiabilidad (Limadora)*

Tabla 3-27: Resultados Weibull Limadora 2022

	TTF (Tiempos entre Fallas) Reparables	TTR (tiempos de reparación)	
1	45	4	
2	70	6	
3	80	8	
4	105	8.5	
5	108	9	
6	130	10.5	
	89.67	7.67	HORAS
	MTBF	MTTR	

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

Ecuación 12: Estimación

$$D_i = \frac{89.67}{7.67 + 89.67}$$

$$D_i = 92.12 \%$$

Tabla 3-28: Resultados Weibull Limadora

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

Confiabilidad

Orden (i)	Tiempo (t) entre fallas	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t- δ)	Ln[Ln(1/1-F(t- δ))]	Ln(t- δ)	Ln[Ln(1/1-F(t- δ))]
1	45	0.109375	3.80666249	-2.15561601	3.80666249	-2.155616006
2	70	0.265625	4.24849524	-1.17527042	4.248495242	-1.175270415
3	80	0.421875	4.38202663	-0.60154355	4.382026635	-0.601543551
4	105	0.578125	4.65396035	-0.14728704	4.65396035	-0.147287035
5	108	0.734375	4.68213123	0.2819178	4.682131227	0.281917795
6	130	0.890625	4.86753445	0.79433683	4.86753445	0.794336831

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	2.748614182
Intercepto [b]	-12.70479527
Escala [θ]	101.7231457
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.98962979
r²	0.979367122
Ideal r	1
Delta r	0.01037021
MTBF [h]	90.51738258
t	90.51738258
R(t)	0.484048994
F(t)	0.515951006

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	2.748614182
Intercepto [b]	-12.70479527
Escala [θ]	101.7231457
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.98962979
r²	0.979367122
Ideal r	1
Delta r	0.01037021
MTBF[h]	90.51738258
t	90.51738258
R(t) sobrevivir	0.484048994
F(t) fallar	0.515951006

Ilustración 3-7: Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez calculados cada uno de los parámetros dentro de Weibull es necesario acotar que existen valores y/o cantidades numéricas que permiten abordar apropiadamente un modelo de mantenimiento. Para el caso del mantenimiento basado en la confiabilidad es fundamental que el parámetro de forma [β] se encuentre en rango de 2 a 3,44.

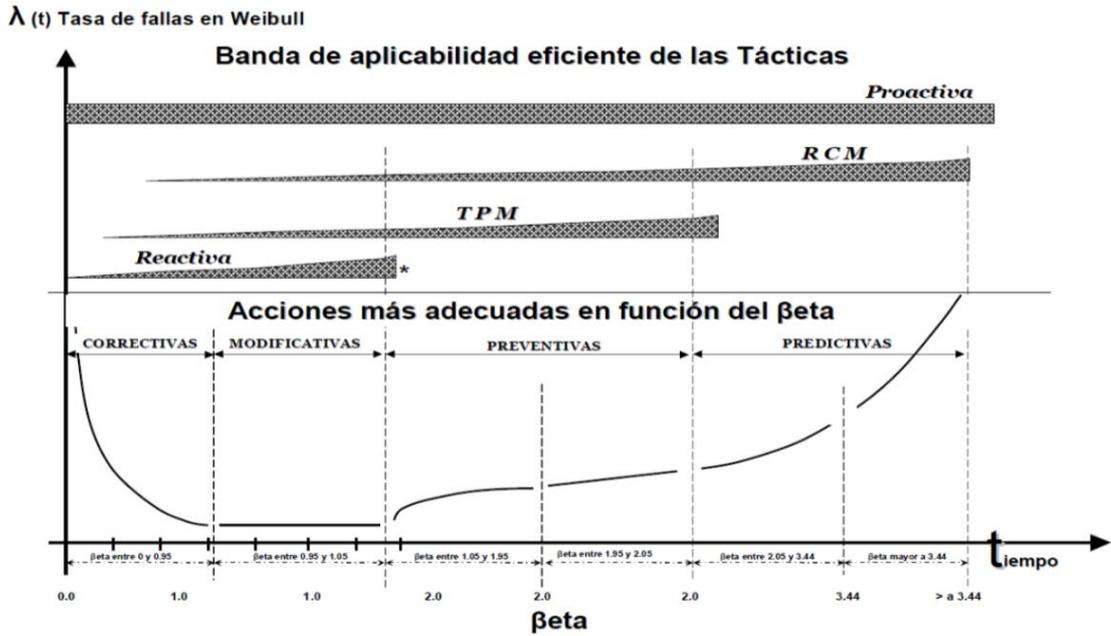


Ilustración 3-8: Selección del modelo de mantenimiento

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Con base en el valor de r^2 , también llamado coeficiente de determinación se constata que los valores evaluados anteriormente son confiables, puesto que el valor de r^2 debe ser lo más cercano a 1 y este tiene un valor de 0,9793 además en la siguiente gráfica se aprecia que los valores se ajustan a la recta.

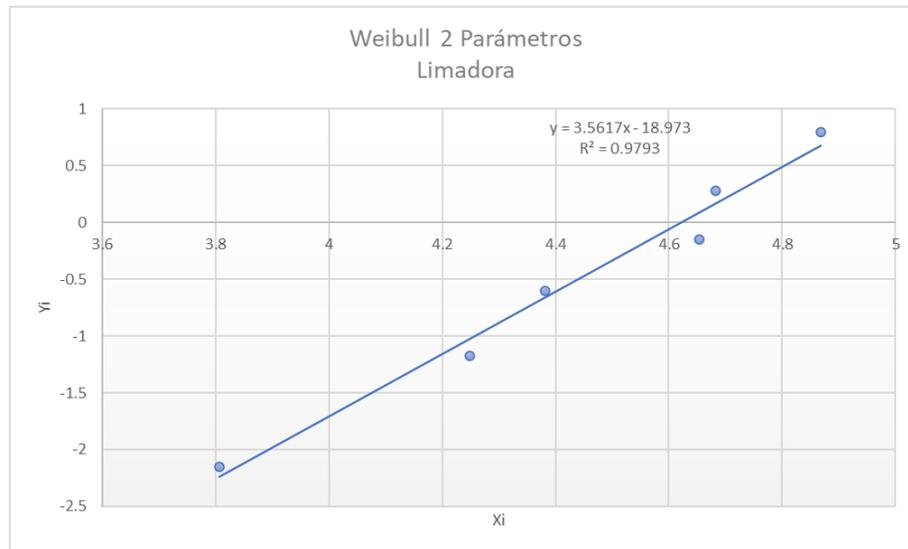


Ilustración 3-9: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

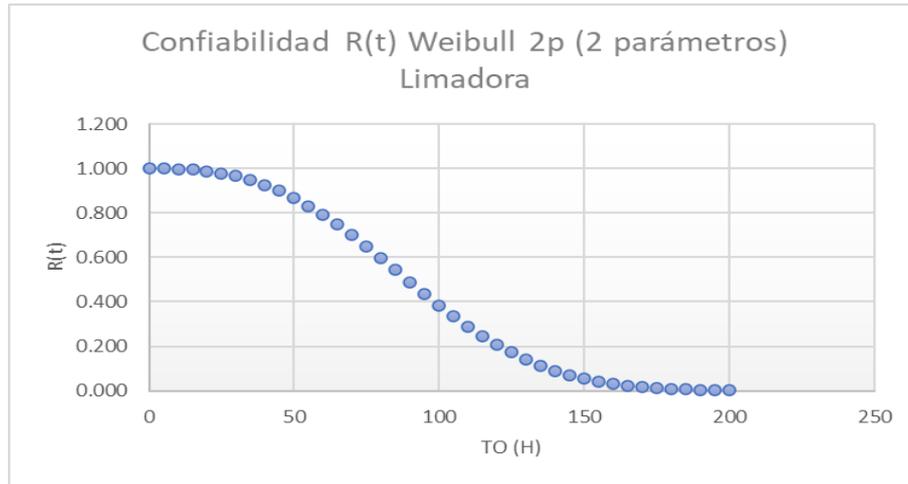


Ilustración 3-10: Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

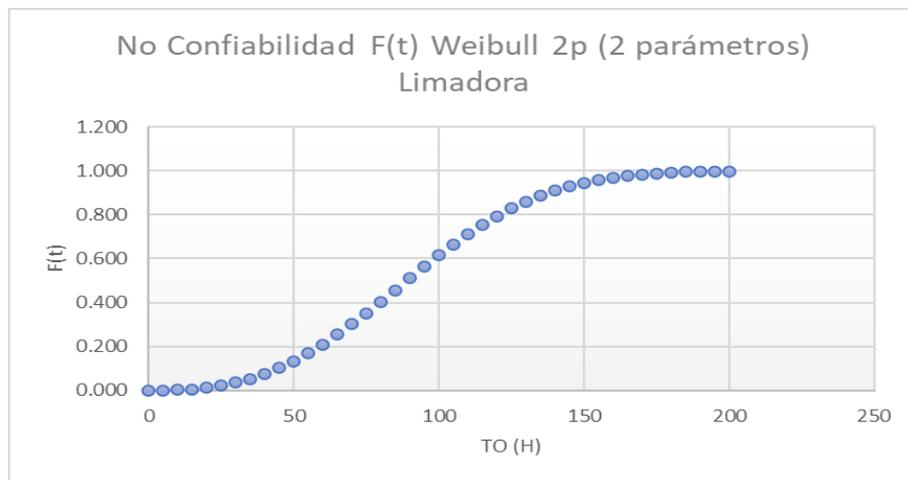


Ilustración 3-11: No confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

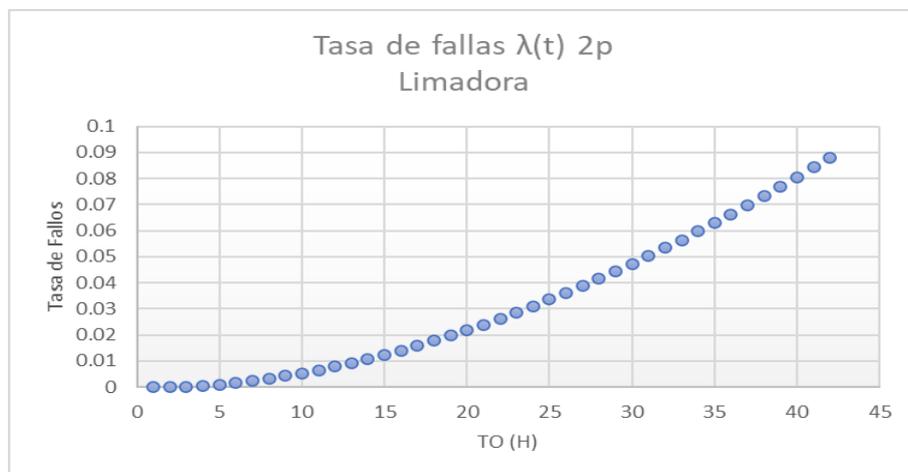


Ilustración 3-12: Tasa de Fallos – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

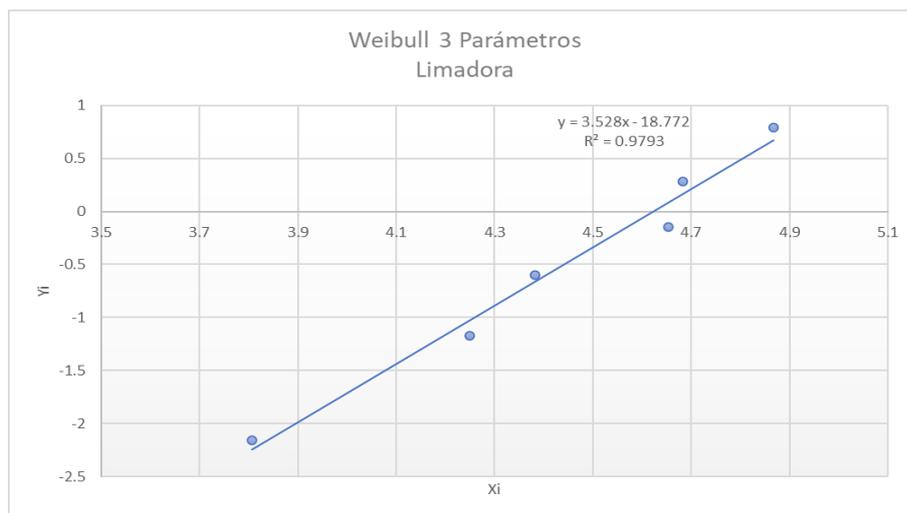


Ilustración 3-13: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

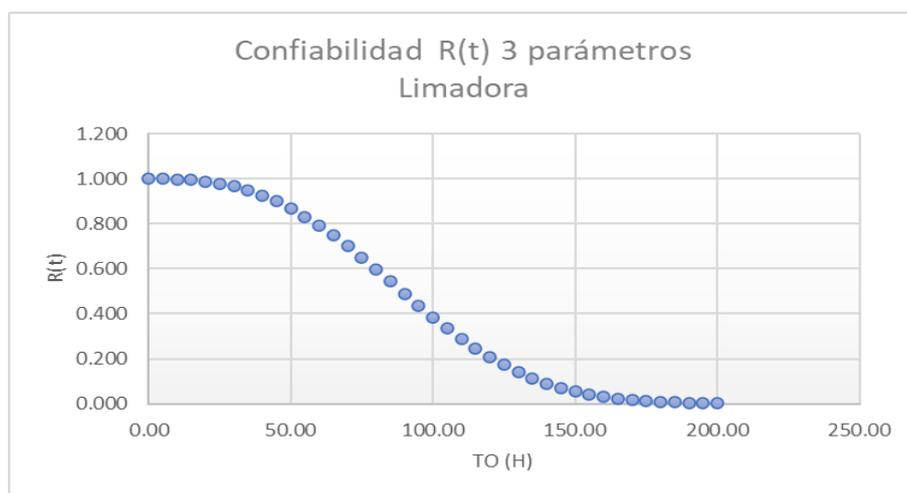


Ilustración 3-14: Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

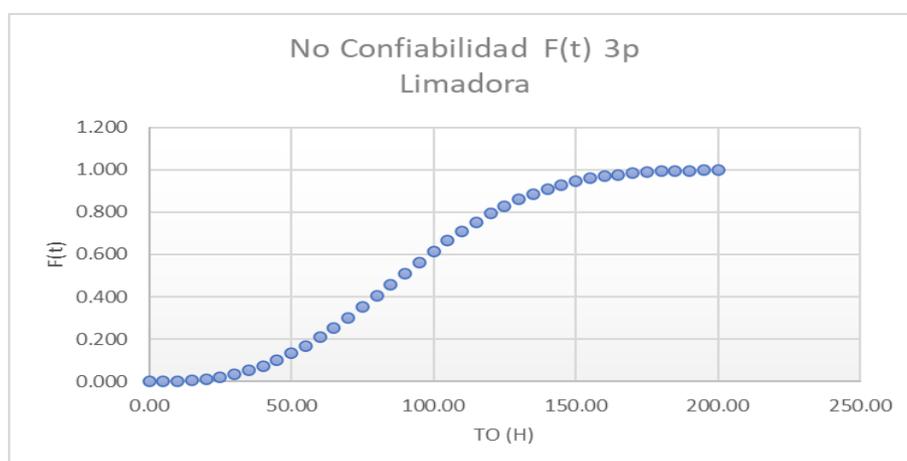


Ilustración 3-15: No confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

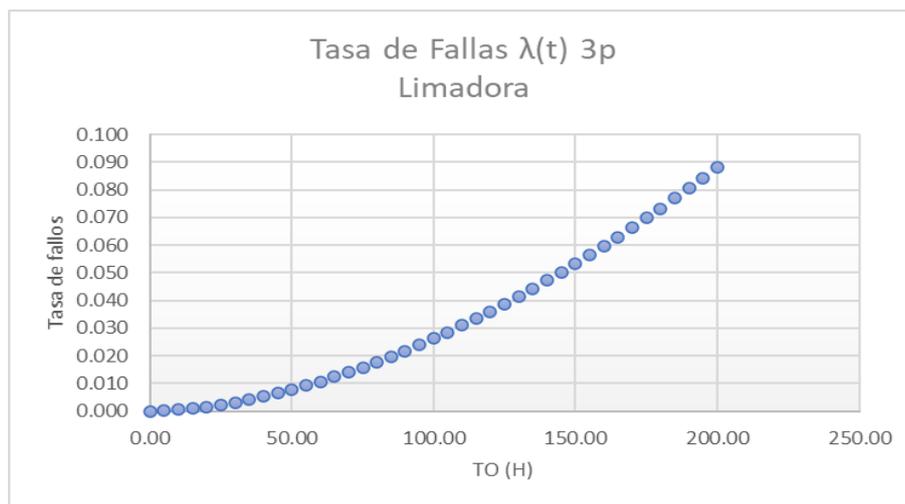


Ilustración 3-16: Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Es de esta manera que el valor concerniente al MTBF puede ser organizado y desde luego responde a las necesidades de la distribución con el propósito que este sea efectivo y permita un análisis exhaustivo de las máquinas. Por otro lado, el valor de r cuadrado para el caso del MTTR requiere de afinación pues su magnitud es igual a 0.98 unidades en promedio.

3.16.1.2. *Análisis de Weibull, mantenibilidad (Limadora)*

Tabla 3-29: Resultados Weibull Limadora (mantenibilidad)

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

MANTENIBILIDAD

Orden (i)	Tiempo (t) reparación	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]	Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]
1	4	0.109375	1.38629436	-2.15561601	1.386294361	-2.155616006
2	6	0.265625	1.79175947	-1.17527042	1.791759469	-1.175270415
3	7	0.421875	1.94591015	-0.60154355	1.945910149	-0.601543551
4	8.5	0.578125	2.14006616	-0.14728704	2.140066163	-0.147287035
5	9	0.734375	2.19722458	0.2819178	2.197224577	0.281917795
6	10.5	0.890625	2.35137526	0.79433683	2.351375257	0.794336831

Fuente: (Ma y Del Pino 1994)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	3.038922923
Intercepto [b]	-6.4835224
Escala [θ]	8.444315828
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.99230104
r²	0.984661355
Ideal r	1
Delta r	0.00769896
MTTR [h]	7.544928319
t	7.544928319
M(t)	0.508444144

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	3.038922923
Intercepto [b]	-6.4835224
Escala [θ]	8.444315828
Localización [δ]	0.000
Pruebas de ajuste	
r	0.99230104
r²	0.984661355
Ideal r	1
Delta r	0.00769896
MTTR [h]	7.544928319
t	7.544928319
M(t)	0.508444144

Ilustración 3-17: Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

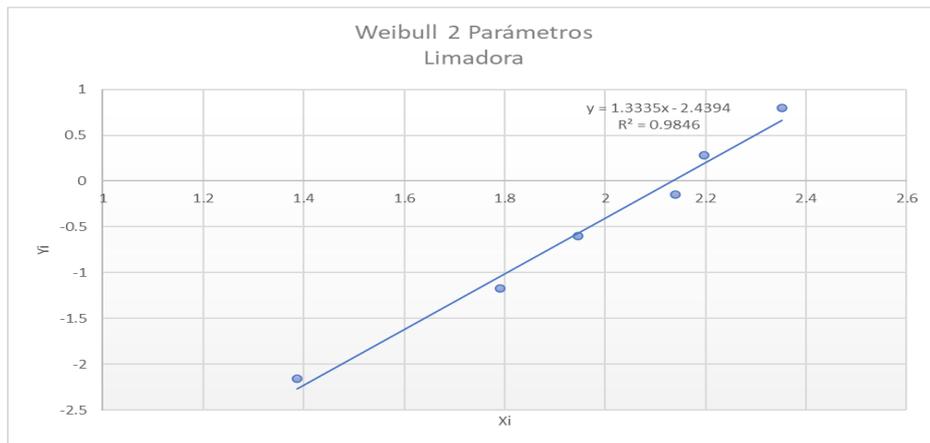


Ilustración 3-18: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

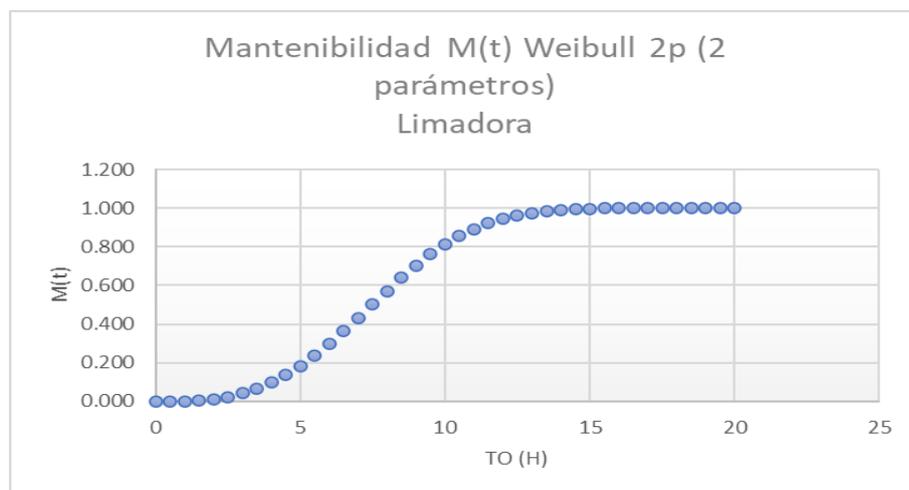


Ilustración 3-19: Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

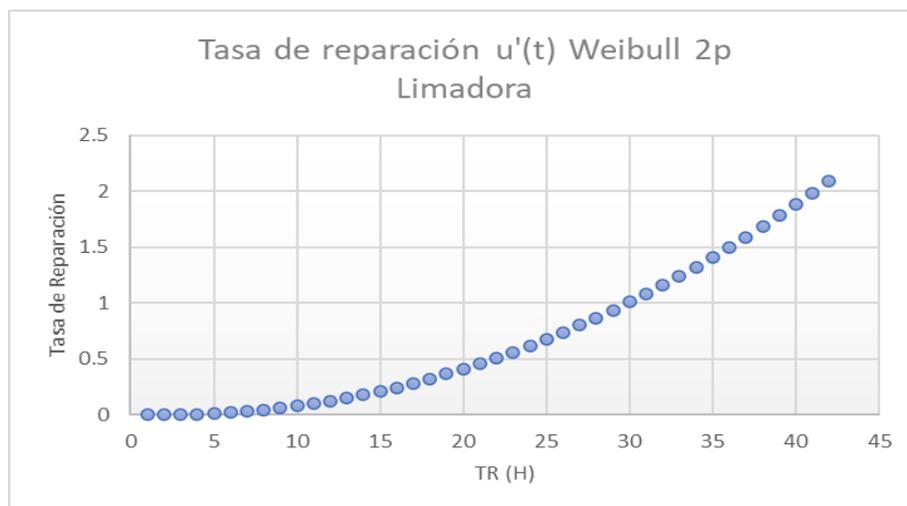


Ilustración 3-20: Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

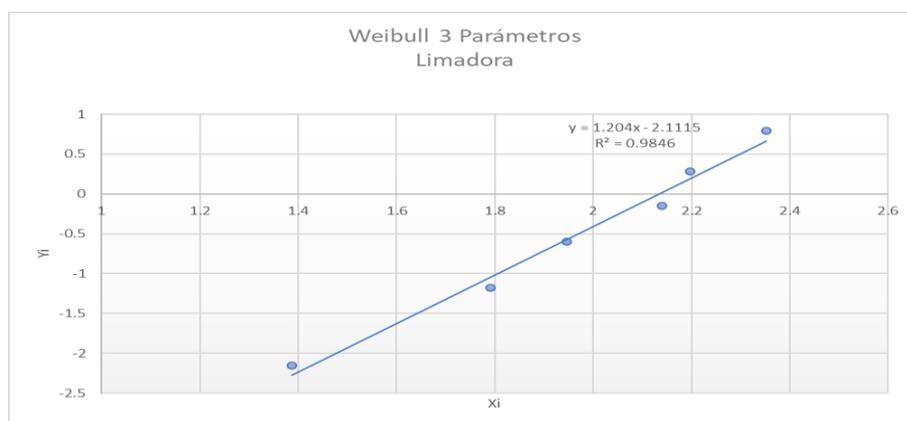


Ilustración 3-21: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

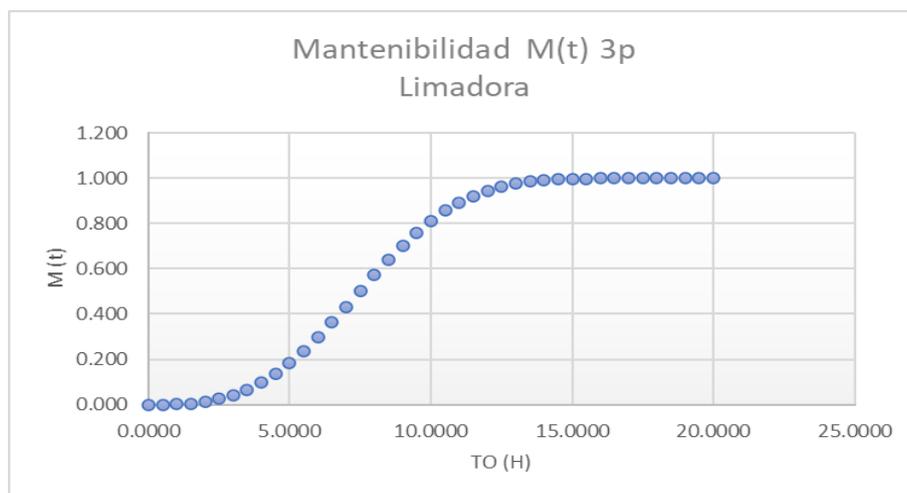


Ilustración 3-22: Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

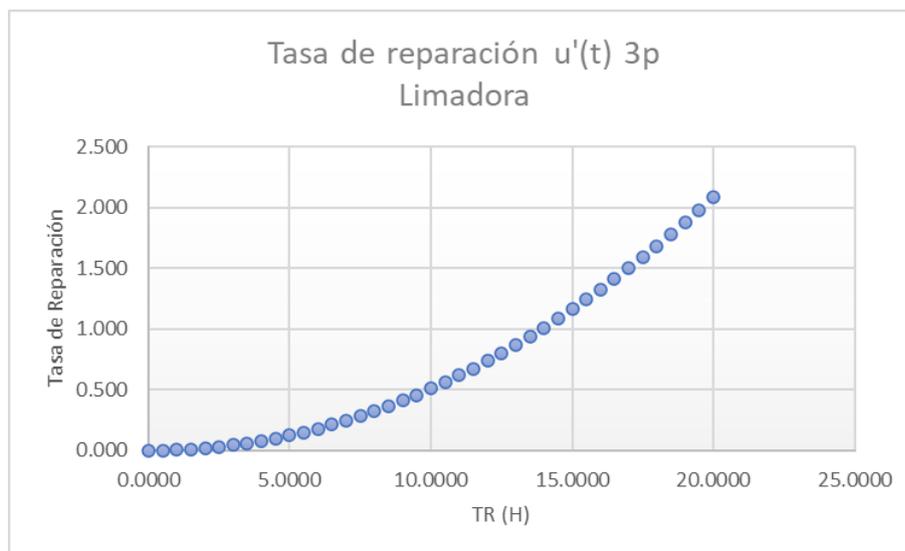


Ilustración 3-23: Tasa de Reparación de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.16.1.3. *Análisis de Weibull, confiabilidad (Sierra de Cinta)*

Tabla 3-30: Resultados Weibull Sierra de Cinta 2022

TTF (Tiempos entre Fallas) Reparables	TTR (tiempos de reparación)
40	3
48	4.4
55	5
66	5.2
68	6
80	7
90	8
100	8.5
68.375	5.8875
MTBF	MTTR

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

$$D_i = \frac{68.375}{5.88 + 68.375}$$

$$D_i = 92.07 \%$$

Es necesario señalar que el valor de disponibilidad no está afinado por medio de la distribución.

Tabla 3-31: Resultados Weibull Sierra de Cinta

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

Confiabilidad

Orden (i)	Tiempo (t) entre fallas	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t- δ)	Ln[Ln(1/1-F(t- δ))]	Ln(t- δ)	Ln[Ln(1/1-F(t- δ))]
1	30	0.08333333	3.40119738	-2.4417164	3.401197382	-2.441716399
2	48	0.20238095	3.87120101	-1.48667096	3.871201011	-1.486670964
3	55	0.32142857	4.00733319	-0.94735442	4.007333185	-0.947354424
4	66	0.44047619	4.18965474	-0.54357405	4.189654742	-0.543574052
5	78	0.55952381	4.35670883	-0.19857426	4.356708827	-0.198574256
6	90	0.67857143	4.49980967	0.12661497	4.49980967	0.12661497
7	105	0.79761905	4.65396035	0.46850467	4.65396035	0.468504666
8	120	0.91666667	4.78749174	0.91023509	4.787491743	0.910235093

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	2.398828967
Intercepto [b]	-10.63933116
Escala [θ]	84.370577
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.997842435
r²	0.995689526
Ideal r	1
Delta r	0.002157565
MTBF [h]	74.79233255
t	74.79233255
R(t)	0.47285709
F(t)	0.52714291

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	2.398828967
Intercepto [b]	-10.63933116
Escala [θ]	84.370577
Localización [δ]	0.00
Pruebas de ajuste	
r	0.997842435
r²	0.995689526
Ideal r	1
Delta r	0.002157565
MTBF[h]	74.79233255
t	74.79233255
R(t) sobrevivir	0.47285709
F(t) fallar	0.52714291

Ilustración 3-24: Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Con base en el valor de r^2 , también llamado coeficiente de determinación se constata que los valores evaluados anteriormente son confiables, puesto que el valor de r^2 debe ser lo más cercano a 1 y este tiene un valor de 0,9967 además en la siguiente gráfica se aprecia que los valores se ajustan a la recta.

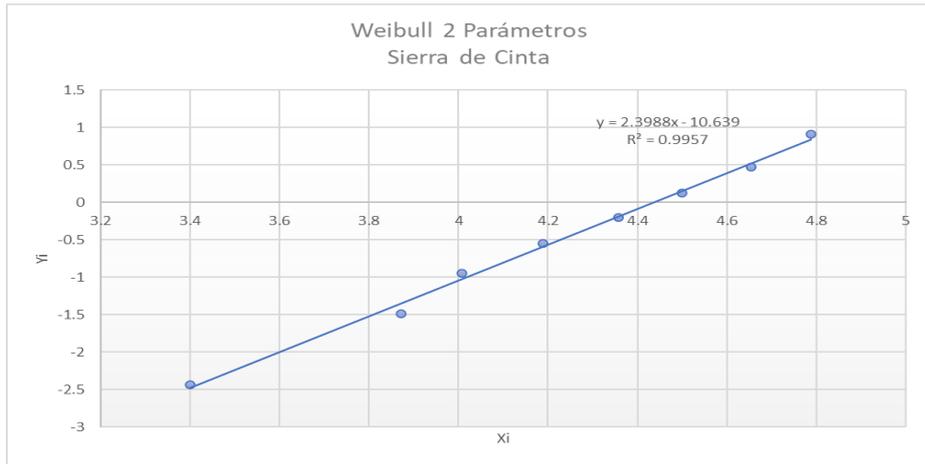


Ilustración 3-25: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

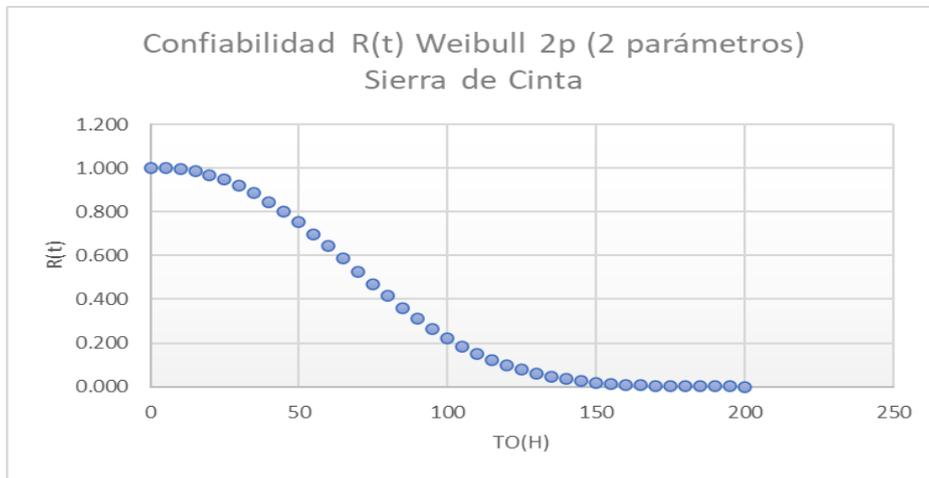


Ilustración 3-26: Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

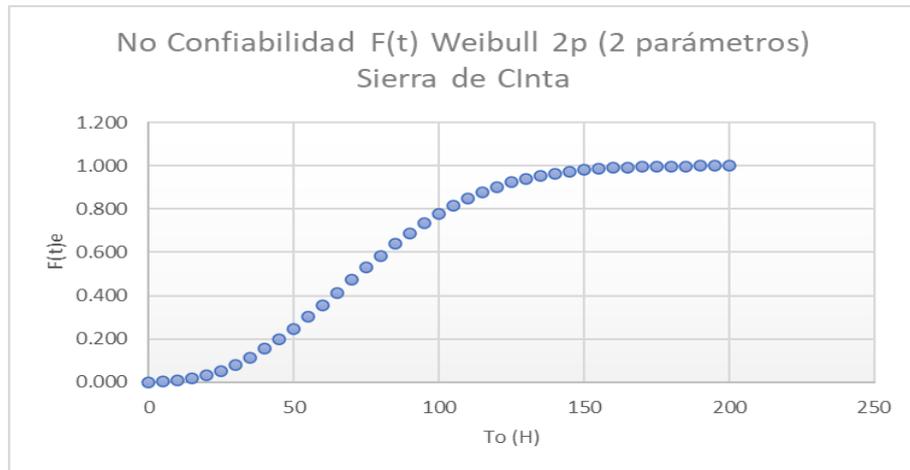


Ilustración 3-27: No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

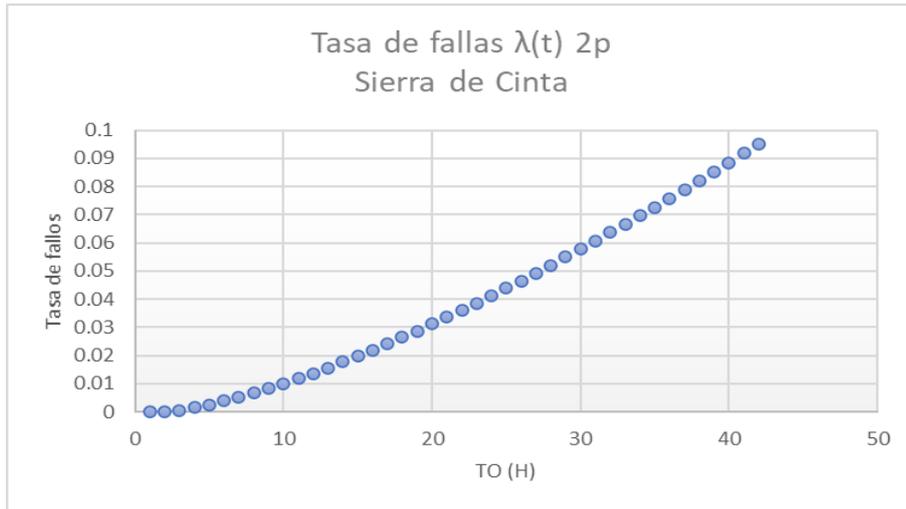


Ilustración 3-28: Tasa de fallos de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

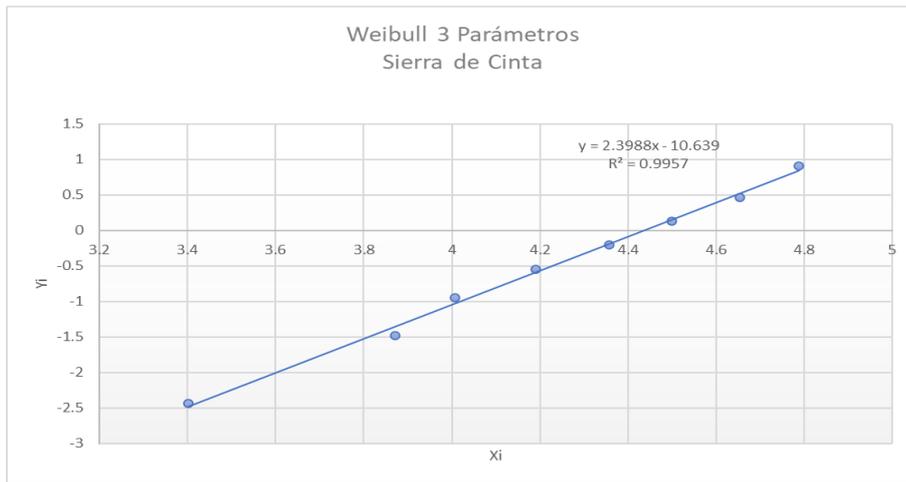


Ilustración 3-29: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

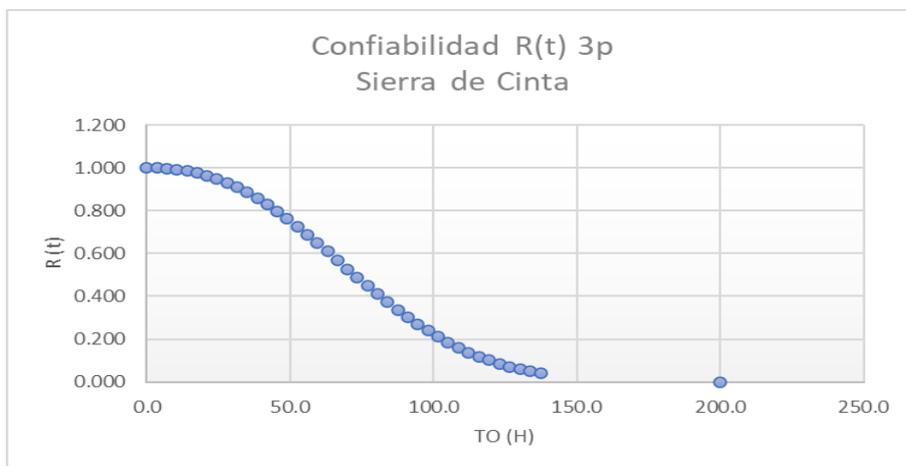


Ilustración 3-30: Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

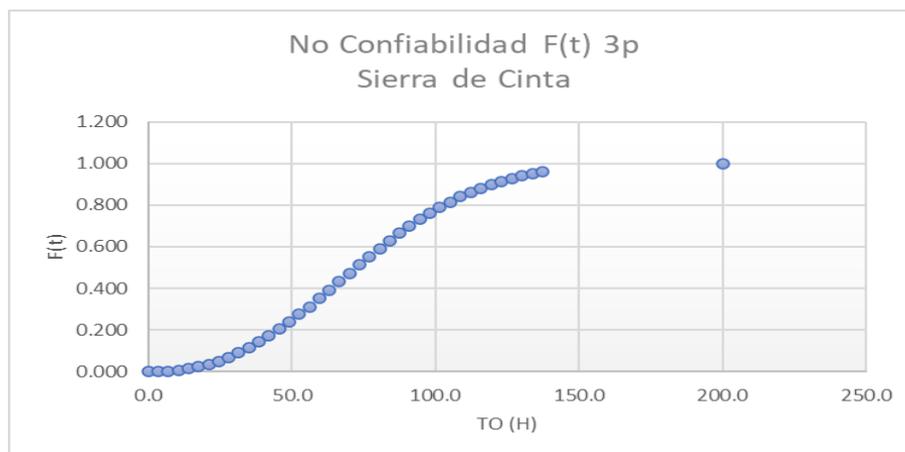


Ilustración 3-31: No confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

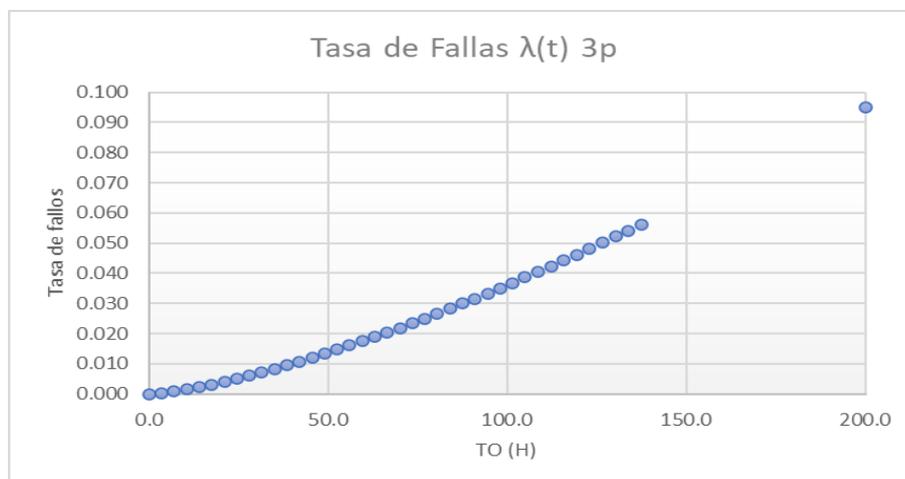


Ilustración 3-32: Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.16.1.4. *Análisis de Weibull mantenibilidad (Sierra de Cinta)*

Tabla 3-32: Resultados Weibull Sierra de Cinta (mantenibilidad)

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

MANTENIBILIDAD

Orden (i)	Tiempo (t) reparación	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			X_i	Y_i	X_i	Y_i
			$\ln(t-\delta)$	$\ln[\ln(1/1-F(t-\delta))]$	$\ln(t-\delta)$	$\ln[\ln(1/1-F(t-\delta))]$
1	3	0.08333333	1.09861229	-2.4417164	0.899255899	-2.441716399
2	4	0.20238095	1.38629436	-1.48667096	1.240624913	-1.486670964
3	5	0.32142857	1.60943791	-0.94735442	1.494649448	-0.947354424
4	5.2	0.44047619	1.64865863	-0.54357405	1.538537565	-0.543574052
5	6	0.55952381	1.79175947	-0.19857426	1.697040941	-0.198574256
6	7	0.67857143	1.94591015	0.12661497	1.865284614	0.12661497
7	8	0.79761905	2.07944154	0.46850467	2.009256924	0.468504666
8	8.5	0.91666667	2.14006616	0.91023509	2.074149262	0.910235093

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	3.071542443
Intercepto [b]	-5.774152661
Escala [θ]	6.552764255
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.994706394
r²	0.989440811
Ideal r	1
Delta r	0.005293606
MTTR [h]	5.857679661
t	5.857679661
M(t)	0.507681505

Horas

Horas

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	2.733033555
Intercepto [b]	-4.89334309
Escala [θ]	5.992111406
Localización [δ]	0.54
Pruebas de ajuste	
r	0.9949095
r²	0.989844913
Ideal r	1
Delta r	0.0050905
MTTR [h]	5.873166111
t	5.873166111
M(t)	0.516394556

Ilustración 3-33: Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

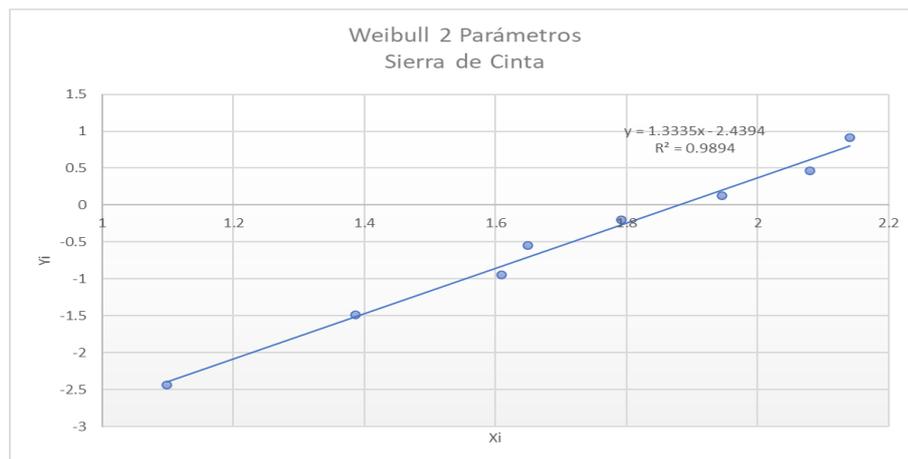


Ilustración 3-34: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

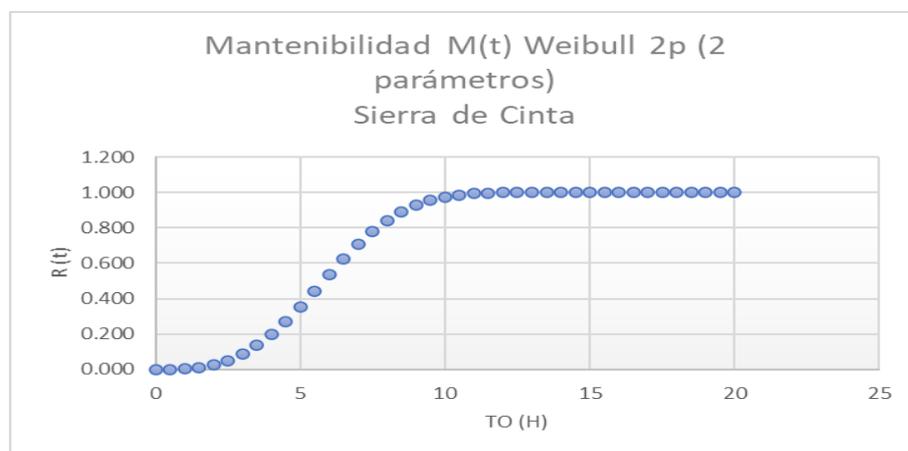


Ilustración 3-35: Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

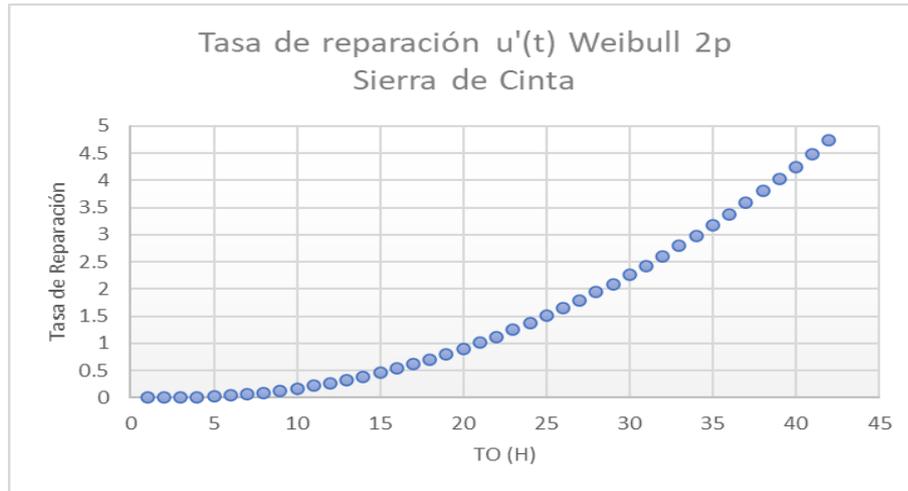


Ilustración 3-36: Tasa de Reparación de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

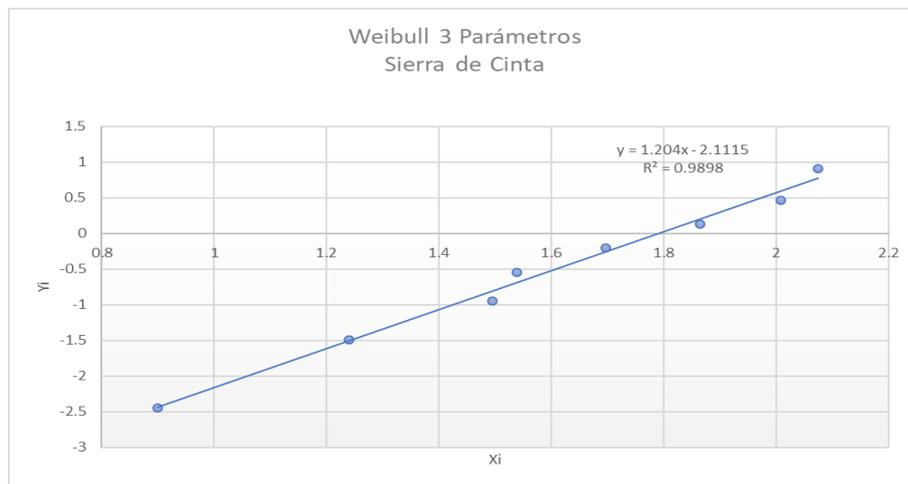


Ilustración 3-37: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

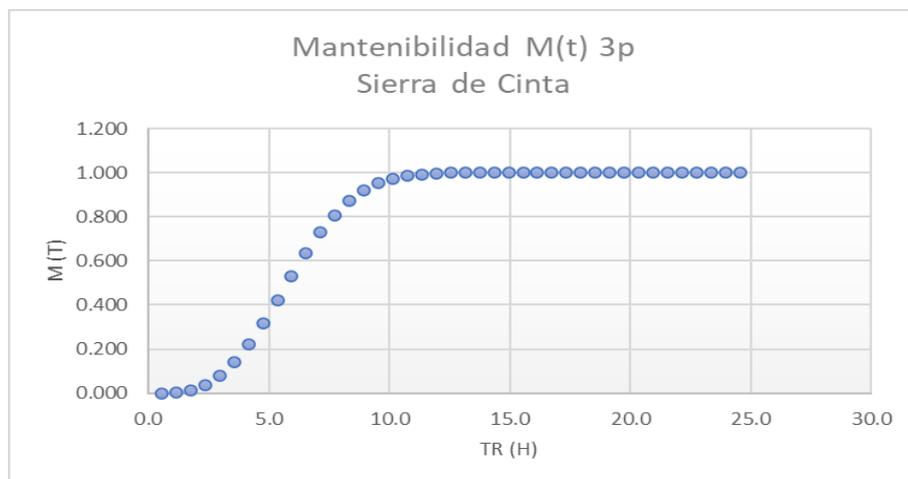


Ilustración 3-38: Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.



Ilustración 3-39: Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Nota: En lo que respecta al análisis de las máquinas siguientes, su información se encuentra en los anexos de la presente investigación.

3.16.2. Producción antes del mantenimiento

3.16.2.1. Ensayo de piezas defectuosas

En este experimento se procede a tomar 10 piezas del total de defectuosos y ser medidas por tres operarios, mediante 2 réplicas y de forma aleatoria para tener un resultado más exacto. Una vez tabulados los resultados son ingresados al programa Minitab, el cual tiene herramientas útiles para generar los informes respectivos.

Tabla 3-33: Toma aleatoria de datos – Ensayo de piezas

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
1	9	OP1	55.19
2	8	OP1	55.16
3	10	OP1	55.18
4	3	OP1	54.78
5	7	OP1	55.17
6	4	OP1	54.78
7	5	OP1	54.83
8	1	OP1	54.83
9	2	OP1	54.8
10	6	OP1	55.17

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
31	7	OP1	55.17
32	10	OP1	55.17
33	2	OP1	54.83
34	6	OP1	55.2
35	4	OP1	54.8
36	1	OP1	54.84
37	3	OP1	54.81
38	5	OP1	54.8
39	9	OP1	55.17
40	8	OP1	55.17

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
11	7	OP2	55.19
12	5	OP2	54.81
13	3	OP2	54.79
14	10	OP2	55.2
15	2	OP2	54.79
16	9	OP2	55.18
17	6	OP2	55.16
18	8	OP2	55.17
19	1	OP2	54.79
20	4	OP2	54.83

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
41	6	OP2	55.18
42	10	OP2	55.16
43	1	OP2	54.8
44	4	OP2	54.79
45	5	OP2	54.83
46	3	OP2	54.84
47	7	OP2	55.18
48	8	OP2	55.16
49	9	OP2	55.18
50	2	OP2	54.79

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
21	1	OP3	54.82
22	7	OP3	55.2
23	5	OP3	54.84
24	10	OP3	55.18
25	6	OP3	55.18
26	9	OP3	55.19
27	8	OP3	55.18
28	2	OP3	54.84
29	4	OP3	54.83
30	3	OP3	54.81

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
51	6	OP3	55.2
52	3	OP3	54.78
53	4	OP3	54.84
54	10	OP3	55.19
55	8	OP3	55.16
56	9	OP3	55.16
57	5	OP3	54.84
58	2	OP3	54.79
59	1	OP3	54.79
60	7	OP3	55.16

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

3.16.2.2. Análisis en Minitab de elementos concernientes a la producción

Método

Partes: 10 Operadores: 3
 Réplicas: 2 Total de corridas: 60

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición : Variabilidad en la Medición
 Fecha del estudio: 2022-05-06
 Notificado por: Francisco Villacís
 Tolerancia: 0.15
 Misc: Empresa Proveedor Industrial

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Partes	9	2.00834	0.223149	675.830	0.000
Operadores	2	0.00072	0.000362	1.095	0.356
Partes * Operadores	18	0.00594	0.000330	1.026	0.461
Repetibilidad	30	0.00965	0.000322		
Total	59	2.02466			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Partes	9	2.00834	0.223149	686.906	0.000
Operadores	2	0.00072	0.000362	1.113	0.337
Repetibilidad	48	0.01559	0.000325		
Total	59	2.02466			

R&R del sistema de medición

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0003267	0.87
Repetibilidad	0.0003249	0.87
Reproducibilidad	0.0000018	0.00
Operadores	0.0000018	0.00
Parte a parte	0.0371374	99.13
Variación total	0.0374641	100.00

En el porcentaje de contribución el R&R total nos arroja un valor muy por debajo del 30% y muy cercano al 1% lo que quiere decir que el sistema de medición es excelente.

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	0.018075	0.10845	9.34
Repetibilidad	0.018024	0.10814	9.31
Reproducibilidad	0.001357	0.00814	0.70
Operadores	0.001357	0.00814	0.70
Parte a parte	0.192711	1.15626	99.56
Variación total	0.193556	1.16134	100.00

Número de categorías distintas = 15

En el porcentaje de variación el R&R total nos arroja un valor muy por debajo del 30% y muy cercano al 10% lo que quiere decir que el sistema de medición es aceptable.

Ilustración 3-40: Análisis de piezas en MiniTab (contexto de producción)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Conclusión: una vez terminado el experimento para verificar la variabilidad que existe en las piezas, se determina que las partes evaluadas fueron medidas de manera correcta y los datos son validados de tal manera que la repetibilidad y la reproducibilidad alcanzan valores de medición aceptables y excelentes, lo que nos dice que tanto el operador como el instrumento y las condiciones son las mismas, por último se puede decir que estas piezas están fuera de los rangos de tolerancia en la producción, por lo que deberán ingresar a un reproceso o ser desechados.

3.17. Plan de mantenimiento

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantea la idea del desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el método RCM. Es necesario acotar que durante la idealización se contó con la participación del técnico de mantenimiento y operadores de máquinas de la empresa objeto de estudio pues, proporcionaron información para la creación de un pseudo inventario de máquinas para estimar la disponibilidad de máquinas. Al respecto de las tareas y actividades de mantenimiento estas fueron definidas por el diagrama de decisión para posterior ser agregadas a las hojas de decisión junto con la frecuencia de su desempeño y la persona a cargo. Para estimar la frecuencia de cada actividad fue indispensable absorber información por parte del técnico (juicio y experiencia operativa) responsable teniendo en mente que dentro de la empresa no poseen un modelo RCM; sin embargo, requieren de un modelo que solvete cada una de sus fallas y permita a las máquinas extraer todo su potencial. La Tabla 43 muestra el plan de mantenimiento para la Limadora.

Tabla 3-34: Gamma de mantenimiento Limadora

Código:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°:
MA-AM-001	Villacis F.	4/8/2023	1
	Auditor:	5/8/2024	6
Descripción de Equipo	Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable
 <p>Limadora.- Mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte</p>	Inspección del nivel de la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento
	Inspección y aplicación de recubrimiento en la bancada	Semestral	Técnico de Mantenimiento
	Inspección, desmontaje y montaje del brazo de trabajo	Semestral	Técnico de Mantenimiento
	Reemplazo de la excéntrica	Anual	Técnico de Mantenimiento
	Inspección del eje de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento
	Inspección y reemplazo del cableado de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento
	Inspección, desmontaje y montaje del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento
	Inspección visual y limpieza del contrapunto	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
	Verificación y colocación de aceite en la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento
	Limpieza de regleta y rejilla de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento
	Inspección visual y limpieza del tirante elevador	Semestral	Técnico de Mantenimiento
	Limpieza de la máquina	Diario	Técnico de Mantenimiento

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacis Francisco., 2023.

Tabla 3-35: Gamma de mantenimiento Sierra de Cinta

Código:	Facilitador: Villacís F.	Fecha:	4/8/2023	Hoja N°:	2
MA-AM-002	Auditor:	Fecha:	5/8/2024	De:	6
Descripción de Equipo		Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable	
 <p>Sierra de Cinta.- Cortar material de distintas dimensiones al respecto de sus geometrías</p>		Inspección del nivel de la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección, desmontaje y ajuste de la guarda	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección, desmontaje y montaje de la polea	Anual	Técnico de Mantenimiento	
		Desmontaje, limpieza y centrado del riel guía	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	
		Reemplazo del tope	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección y rebobinado del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección visual del depósito de taladrina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección visual del cableado de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección visual de interruptores	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección y limpieza de la mordaza	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección y limpieza del motor	Anual	Técnico de Mantenimiento	
		Inspección visual , limpieza y reemplazo de polea	Anual	Técnico de Mantenimiento	
		Reemplazo de la banda de transmisión	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
		Limpieza general de la máquina	Semanal	Técnico de Mantenimiento	

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Nota: Las gammas de mantenimiento de las demás máquinas se colocan en los anexos posteriores del trabajo de investigación.

3.17.1. Logística del mantenimiento

Una vez elaborado el plan de mantenimiento de cada máquina se procede a realizar los requerimientos logísticos para cada tarea de mantenimiento. Los requerimientos logísticos para utilizar consisten en: tiempo para la reparación, materiales, herramientas y/o equipos.

Tabla 3-36: Requerimientos Logísticos Limadora

Requerimientos Logísticos		
Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
0.5	Hoja de verificación	
2	Brocha, guaípe, anticorrosivo	Destornilladores, llave (10 mm)
1	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm)
0.3	Excéntrica	Destornilladores, llave (10 mm)
2.5	Hoja de verificación	
3	Cable #12	Destornilladores, llave (10 mm)
0.3		
1		Destornilladores, llave (14 mm)
2	Aceite Defrix	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
1.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
2	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
0.5	Brocha, guaípe	

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 3-37: Requerimientos Logísticos Sierra de Cinta

Requerimientos Logísticos		
Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
0.5	Hoja de verificación	
3	Guarda	Destornilladores, llave (10 mm)
1	Brocha, guaípe, polea	
0.3	Riel guía	
3	Tope de carrera magnético	Destornilladores, llave (14 mm), Alicate
2	Varios	Destornilladores, llave (10 mm)
0.2	Hoja de verificación	
2.5	Hoja de verificación	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
1.5	Hoja de verificación	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
3	Brocha, guaípe	
1	Brocha, guaípe	
3	Polea	Destornilladores, llave (8 mm), alicate
4	Banda de transmisión	Destornilladores, llave (10 mm), Alicate
1	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), Alicate

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Nota: Los registros de mantenimiento de las demás máquinas se colocan en el anexo G del trabajo de investigación.

3.17.2. Documentos de mantenimiento

En apartados anteriores se dejó en manifiesto cuales son las actividades para realizarse con el propósito de incrementar la fiabilidad de las máquinas. De igual manera se evidencio la logística del mantenimiento. Sin embargo, es fundamental acotar que el procedimiento de inspección, reemplazo y mantenimiento requiere de un proceso de verificación y control con el propósito de registrar datos y si es necesario afinar el modelo para mantener las máquinas funcionando la mayor cantidad de tiempo y no generar paros innecesarios en la producción. Es de hecho, por este aspecto que los documentos mínimos dentro del plan de mantenimiento se muestran en la ilustración 3-38 a la par del flujograma del proceso.

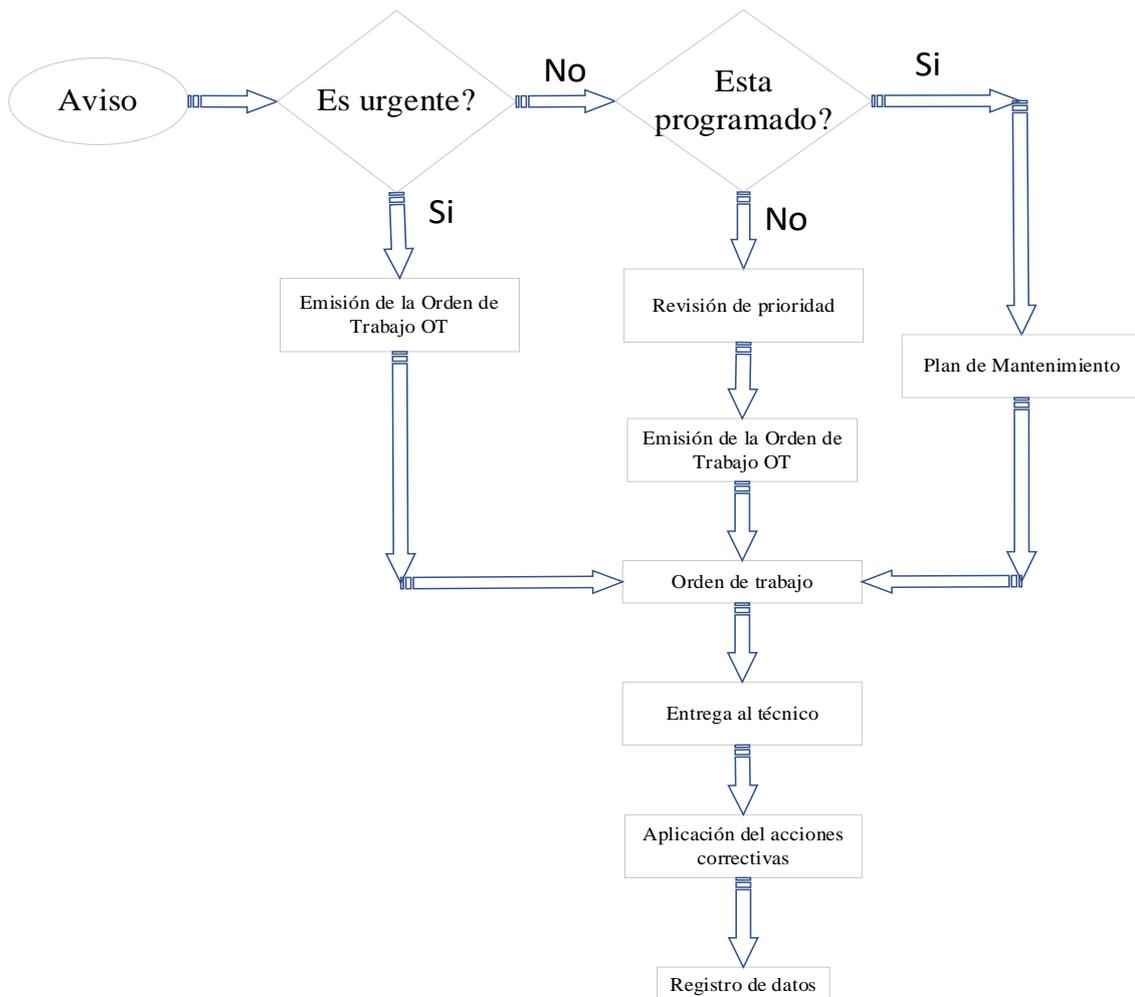


Ilustración 3-41: Flujograma del proceso de mantenimiento

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Solicitud de trabajo

La solicitud de trabajo se considera como el documento que permite catalogar que actividad va a ser efectuada por parte del técnico de mantenimiento con el propósito de solventar cualquier problema dentro de la producción. A continuación, se muestra la solicitud de para la empresa objeto de estudio.

Tabla 3-38: Solicitud de trabajo

		<h2>Solicitud de Trabajo</h2>	
Fecha de solicitud:		Número de Solicitud:	
Nombre del Solicitante:		Recibida por:	
Datos de la Máquina			
Área:		Descripción de trabajo:	
Máquina:			
Componete:			
Datos del Mantenimiento			
Tipo de mantenimiento:		Fecha y Hora de Inicio:	
Instrumentos Empleados:		Fecha y Hora de Finalización:	
Componetes requeridos:		Duración estimada:	
Prioridad:		Tiempo de ejecución:	
Fecha programada:		Tiempo real del paro del activo:	
Firma del Solicitante		Técnico de Mantenimiento	

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Orden de trabajo

Este es un documento que contiene información relativa a una operación de mantenimiento a ser efectuada con base un cronograma ya establecido para cada una de las máquinas. En la tabla 3-48 se presenta el modelo de documento de orden de trabajo para la empresa.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO

4.1. Datos de la intervención del mantenimiento

Dentro de la empresa Proveedor Industrial actualmente no se está efectuando un modelo de mantenimiento orientado hacia la confiabilidad y de igual manera no se cuenta con un inventario de equipos; por ende, como primer punto en la lista fue indispensable organizar cada una de las máquinas con base en una descripción particular (inventario) que permita efectuar las acciones necesarias para salvaguardar su integridad. De manera similar, se abordó la descripción de cada uno de los componentes con el propósito de establecer cuál de ellos es el más crítico y desde luego abordar las acciones correctivas o preventivas necesarias para generar un valor alto de disponibilidad. Por último, se elaboró un análisis bajo la distribución de Weibull teniendo en mente una mejora con base en los tiempos de operación y reparación.

El inventario de equipos fue desarrollado en su totalidad, tal información fue recabada a manera de fichas que muestran las características intrínsecas de cada de las máquinas objeto de estudio. Por otro lado, el análisis de criticidad arrojo que un gran número de componentes requieren de atención preferencial para mantener el proceso productivo. A continuación, se muestra la ilustración 4-1 que permite identificar de manera global el porcentaje de componentes críticos, semicríticos y no críticos de las máquinas.

Tabla 4-1: Jerarquización de componentes

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
CRÍTICOS	48	40.00%
SEMICRÍTICOS	23	19.17%
NO CRÍTICOS	49	40.83%

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

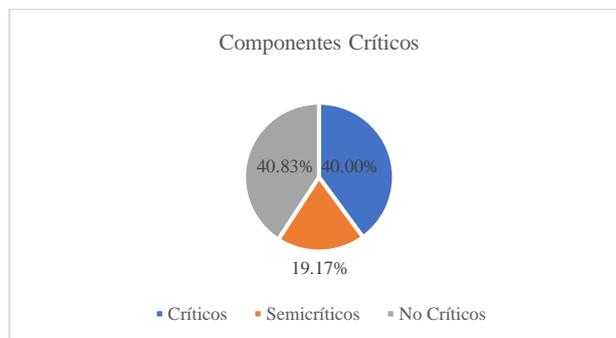


Ilustración 4-1: Jerarquización de componentes

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Se puede resaltar que tras es estudio el 40,83% de los componentes que comprenden a las máquinas de la empresa Proveedor Industrial poseen un estado crítico y por ende deben ser analizadas con el propósito de estudiarlas y aplicar a las mismas un modelo de mantenimiento acertado. Por otro lado, el 40% de los componentes no son críticos y por último el 19.17% son semicríticos; es hecho por este motivo que las máquinas presentan una disponibilidad alta, pero se muestran en el segundo periodo de la bañera (máximo trabajo).

4.2. Resultados de la evaluación de la planificación del mantenimiento

4.2.1. Modelo matemático Weibull 2023

4.2.1.1. Análisis de Weibull, confiabilidad (Limadora)

Tabla 4-2: Resultados Weibull Limadora 2023

	TTF (Tiempos entre Fallas) Reparables	TTR (tiempos de reparación)	
1	40	0.5	
2	90	1	
3	130	2	
4	150	2.5	
5	190	3	
6	230	4	
	138.33	2.17	HORAS
	MTBF	MTTR	

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

$$D_i = \frac{138.33}{2.17 + 138.33}$$

$$D_i = 98.46 \%$$

Tabla 4-3: Resultados Weibull Limadora

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

Confiabilidad

Orden (i)	Tiempo (t) entre fallas	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]	Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]
1	40	0.109375	3.68887945	-2.15561601	3.688879454	-2.155616006
2	80	0.265625	4.38202663	-1.17527042	4.382026635	-1.175270415
3	115	0.421875	4.74493213	-0.60154355	4.744932128	-0.601543551
4	150	0.578125	5.01063529	-0.14728704	5.010635294	-0.147287035
5	190	0.734375	5.24702407	0.2819178	5.247024072	0.281917795
6	240	0.890625	5.48063892	0.79433683	5.480638923	0.794336831

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.6268023
Intercepto [b]	-8.242566285
Escala [θ]	158.6545018
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.996867765
r²	0.993745341
Ideal r	1
Delta r	0.003132235
MTBF [h]	142.0363197
t	142.0363197
R(t)	0.433757015
F(t)	0.566242985

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.626802313
Intercepto [b]	-8.242566285
Escala [θ]	158.6545018
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.996867765
r²	0.993745341
Ideal r	1
Delta r	0.003132235
MTBF [h]	142.0363197
t	142.0363197
R(t) sobrevivir	0.433757015
F(t) fallar	0.566242985

Ilustración 4-2: Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez calculados cada uno de los parámetros dentro de Weibull es necesario acotar que existen valores y/o cantidades numéricas que permiten abordar apropiadamente un modelo de mantenimiento. Para el caso del mantenimiento basado en la confiabilidad es fundamental que el parámetro de forma [β] tenga un valor inferior a 2.

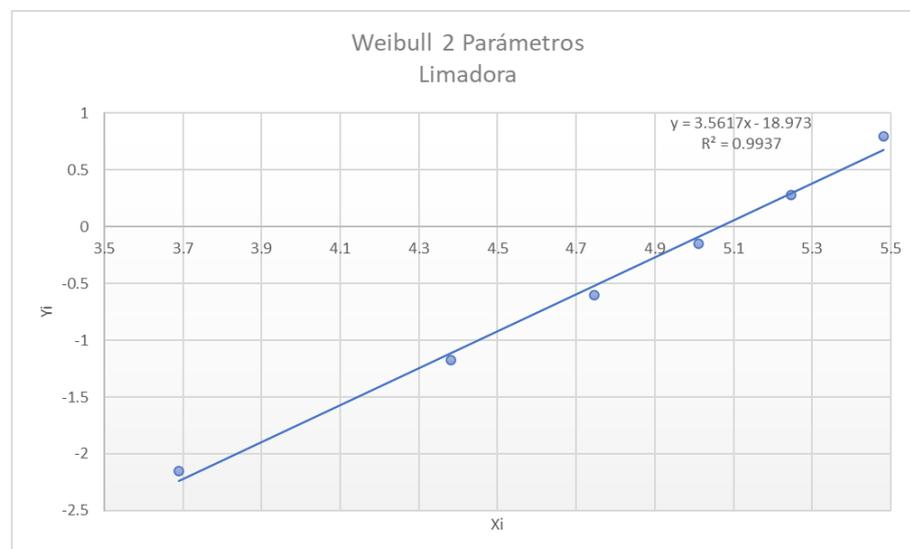


Ilustración 4-3: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

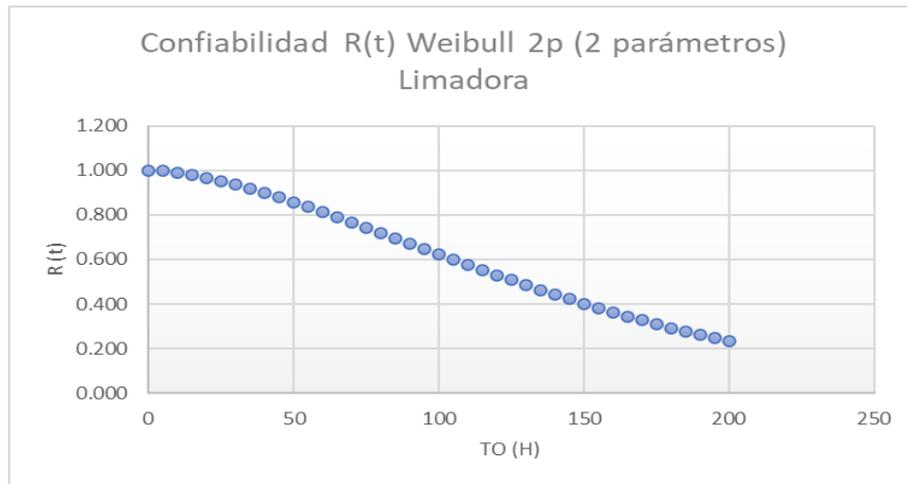


Ilustración 4-4: Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

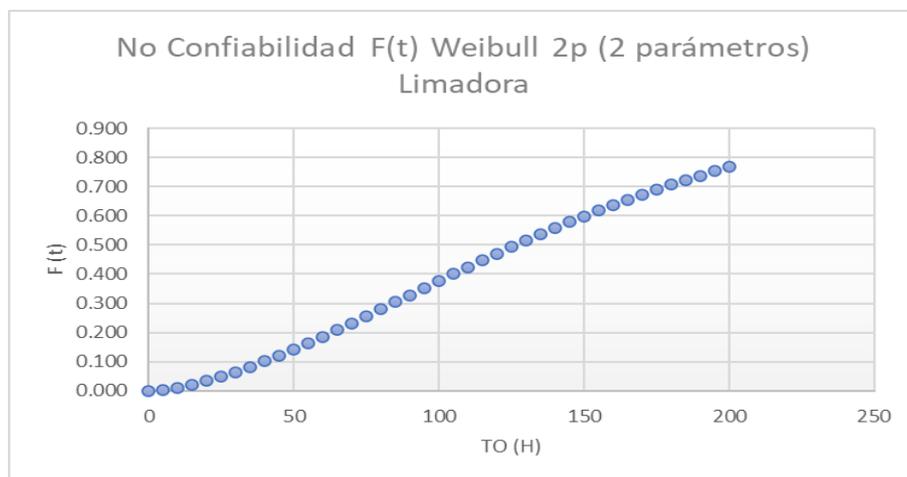


Ilustración 4-5: No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

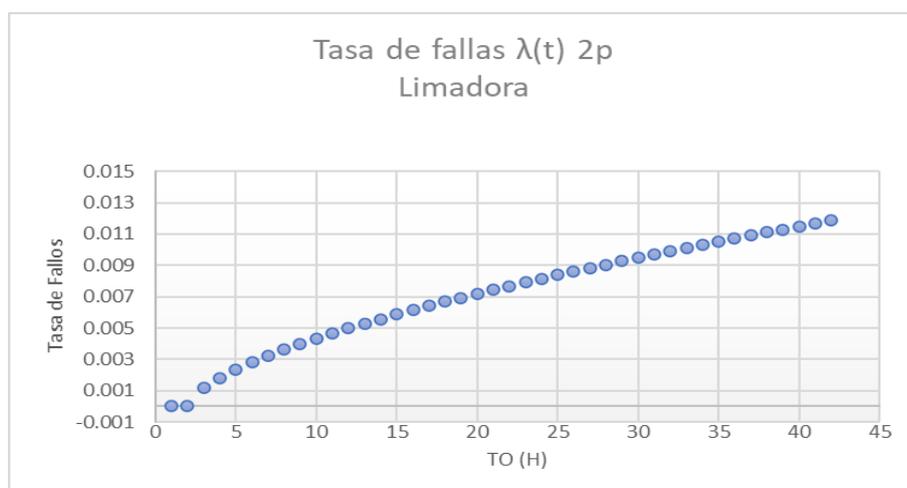


Ilustración 4-6: Tasa de fallas de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

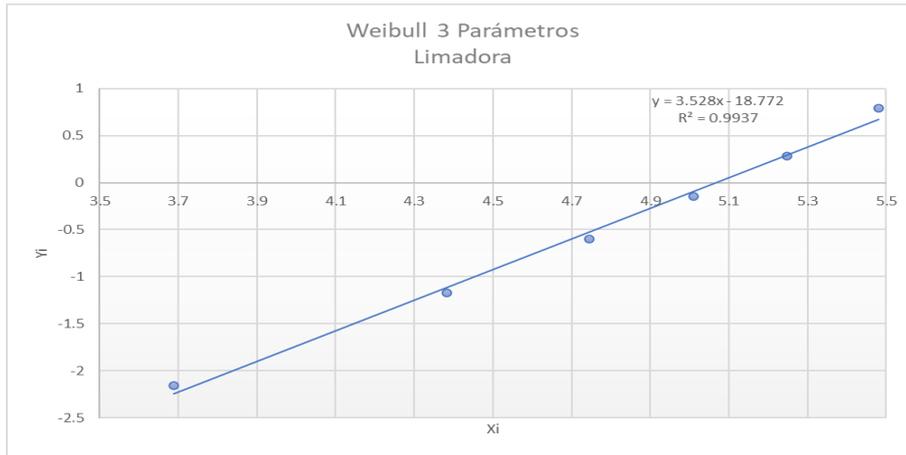


Ilustración 4-7: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

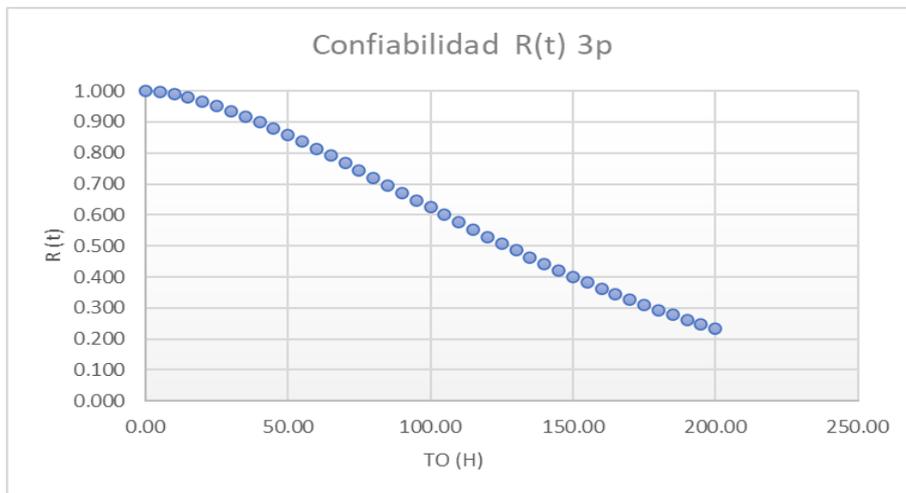


Ilustración 4-8: Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

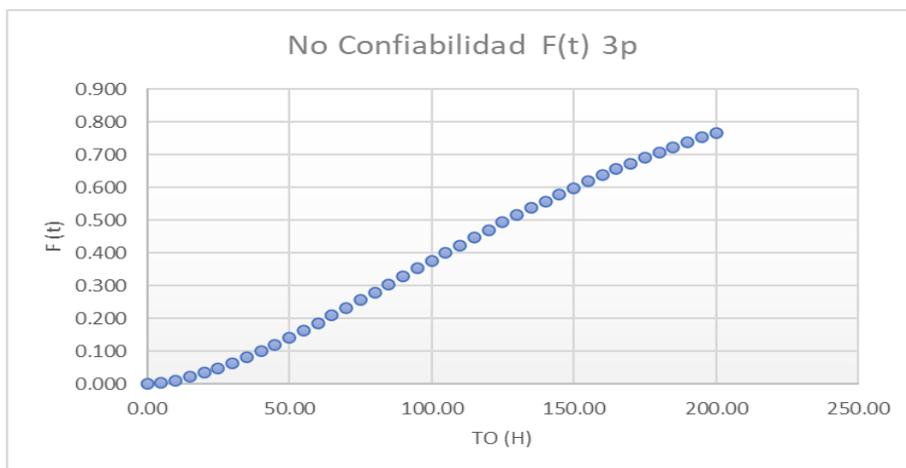


Ilustración 4-9: No Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

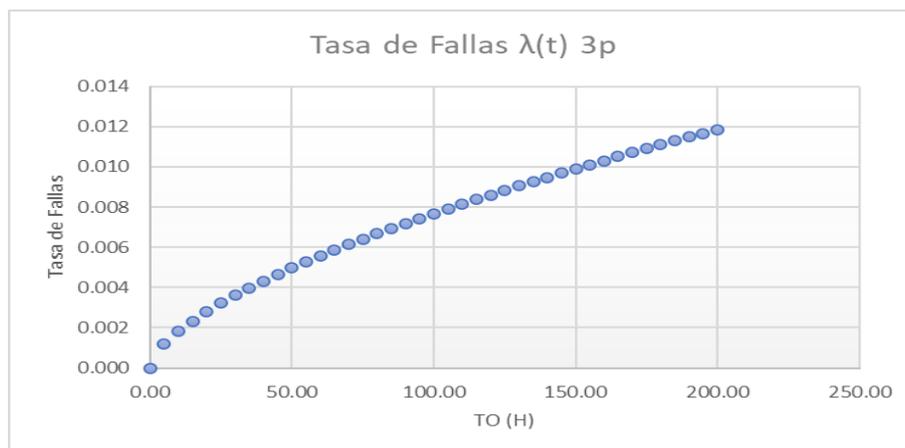


Ilustración 4-10: Tasa de fallas de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

4.2.1.2. *Análisis de Weibull, mantenibilidad (Limadora)*

Tabla 4-4: Resultados Weibull Limadora (mantenibilidad)

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

MANTENIBILIDAD

Orden (i)	Tiempo (t) reparación	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]	Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]
1	0.5	0.109375	-0.69314718	-2.15561601	-0.758028053	-2.155616006
2	1	0.265625	0	-1.17527042	-0.031914337	-1.175270415
3	1.5	0.421875	0.40546511	-0.60154355	0.384302451	-0.601543551
4	2	0.578125	0.69314718	-0.14728704	0.677317322	-0.147287035
5	3	0.734375	1.09861229	0.2819178	1.088086941	0.281917795
6	4	0.890625	1.38629436	0.79433683	1.378410755	0.794336831

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.399841919
Intercepto [b]	-1.174920988
Escala [θ]	2.314801757
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.999036704
r ²	0.998074336
Ideal r	1
Delta r	0.000963296
MTTR [h]	2.109801762
t	2.109801762
M(t)	0.584496628

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.363513792
Intercepto [b]	-1.122833644
Escala [θ]	2.278427151
Localización [δ]	0.031
Pruebas de ajuste	
r	0.999071019
r ²	0.998142901
Ideal r	1
Delta r	0.000928981
MTTR [h]	2.117062894
t	2.117062894
M(t)	0.587880537

Ilustración 4-11: Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

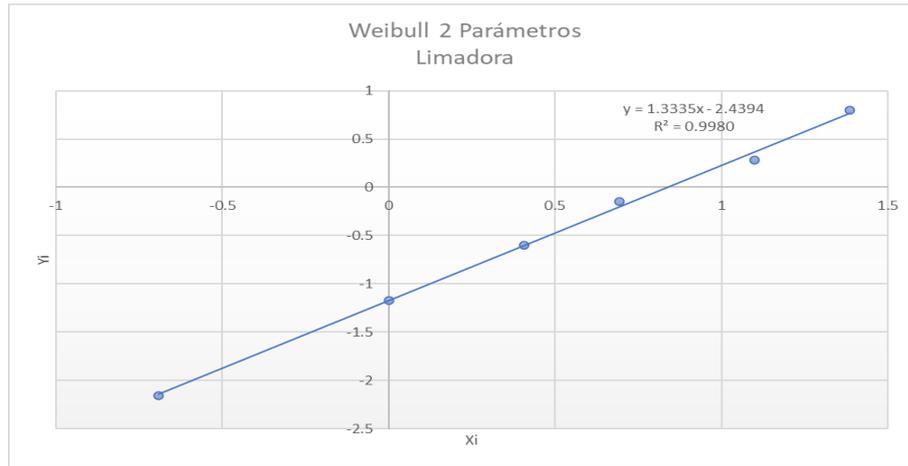


Ilustración 4-12: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

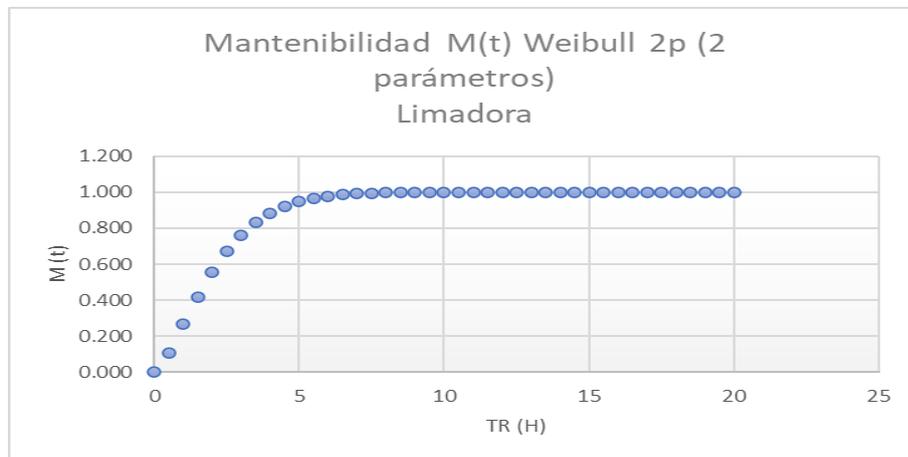


Ilustración 4-13: Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

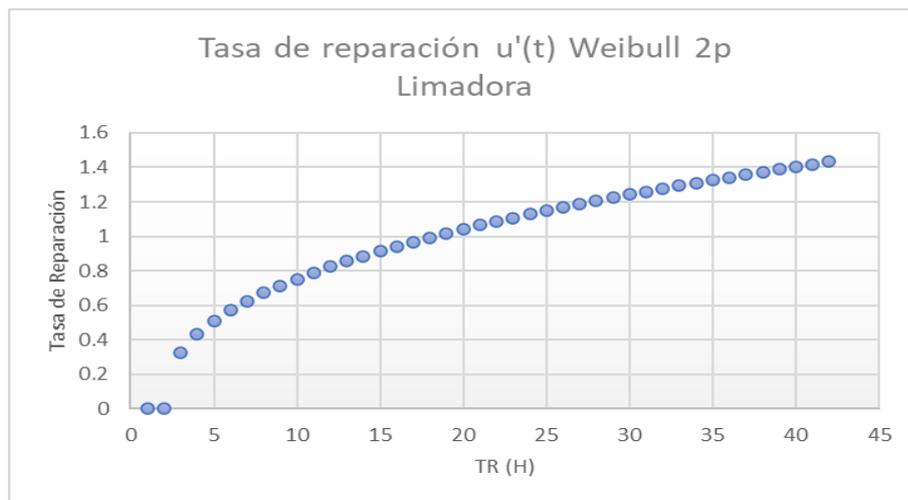


Ilustración 4-14: Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

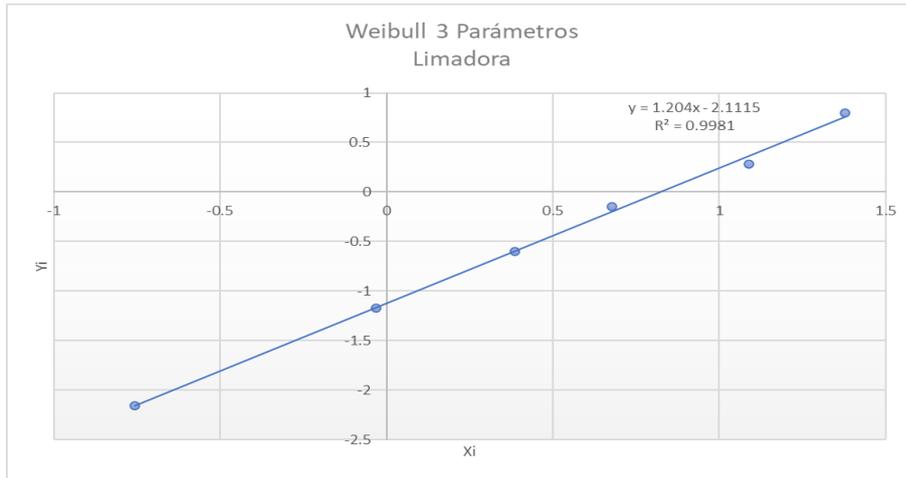


Ilustración 4-15: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – calculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

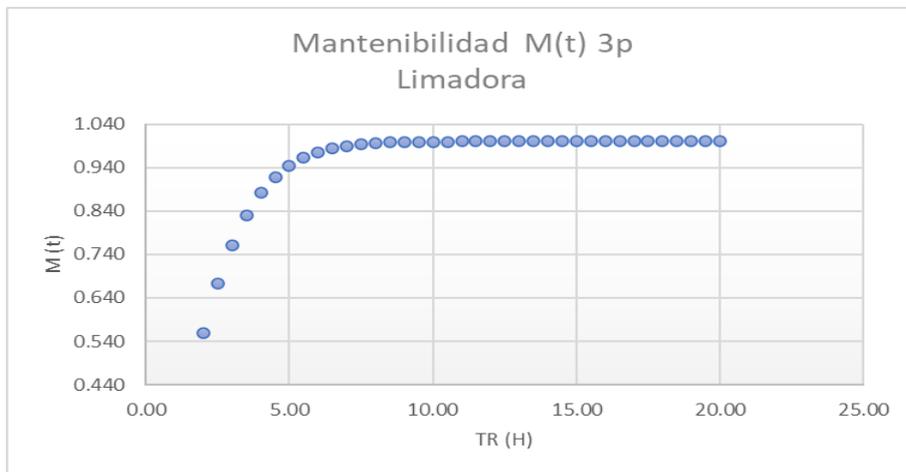


Ilustración 4-16: Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

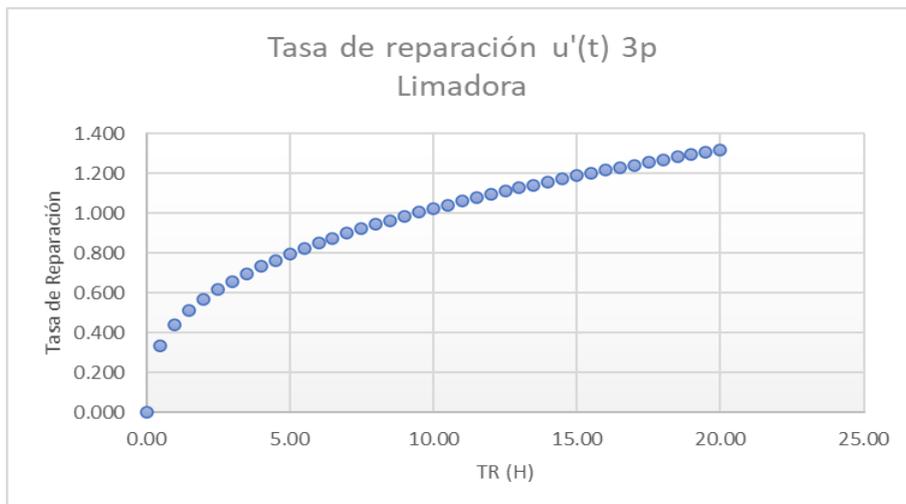


Ilustración 4-17: Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

4.2.1.3. Análisis de Weibull confiabilidad (Sierra de Cinta)

Tabla 4-5: Resultados Weibull Sierra de Cinta 2023

TTF (Tiempos entre Fallas) Reparables	TTR (tiempos de reparación)	
70	0.5	
90	1.1	
130	1.8	
150	2.5	
170	3	
190	3.5	
200	4	
300	6	
162.5	2.8	HORAS
MTBF	MTTR	

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

$$D_i = \frac{162.5}{2.8 + 162.5}$$

$$D_i = 98.31 \%$$

Tabla 4-6: Resultados Weibull Sierra de Cinta

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

Confiabilidad

Orden (i)	Tiempo (t) entre fallas	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi Ln(t-δ)	Yi Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]	Xi Ln(t-δ)	Yi Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]
1	45	0.08333333	3.80666249	-2.4417164	3.80666249	-2.441716399
2	90	0.20238095	4.49980967	-1.48667096	4.49980967	-1.486670964
3	120	0.32142857	4.78749174	-0.94735442	4.787491743	-0.947354424
4	150	0.44047619	5.01063529	-0.54357405	5.010635294	-0.543574052
5	190	0.55952381	5.24702407	-0.19857426	5.247024072	-0.198574256
6	235	0.67857143	5.45958551	0.12661497	5.459585514	0.12661497
7	280	0.79761905	5.6347896	0.46850467	5.634789603	0.468504666
8	350	0.91666667	5.85793315	0.91023509	5.857933154	0.910235093

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma	
Pendiente [β]	1.633951816
Intercepto [b]	-8.745902188
Escala [θ]	211.1581035
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.998394244
r ²	0.996791067
Ideal r	1
Delta r	0.001605756
MTBF[h]	188.9705836
t	188.9705836
R(t)	0.434262422
F(t)	0.565737578

Horas

Horas

Probabilidad

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma	
Pendiente [β]	1.633951816
Intercepto [b]	-8.745902188
Escala [θ]	211.1581035
Localización [δ]	0.00
Pruebas de ajuste	
r	0.998394244
r ²	0.996791067
Ideal r	1
Delta r	0.001605756
MTBF [h]	188.9705836
t	188.9705836
R(t) sobrevivir	0.434262422
F(t) fallar	0.565737578

Ilustración 4-18: Cálculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez calculados cada uno de los parámetros dentro de Weibull es necesario acotar que existen valores y/o cantidades numéricas que permiten abordar apropiadamente un modelo de mantenimiento. Para el caso del mantenimiento basado en la confiabilidad es fundamental que el parámetro de forma [β] tenga un valor inferior a 2.

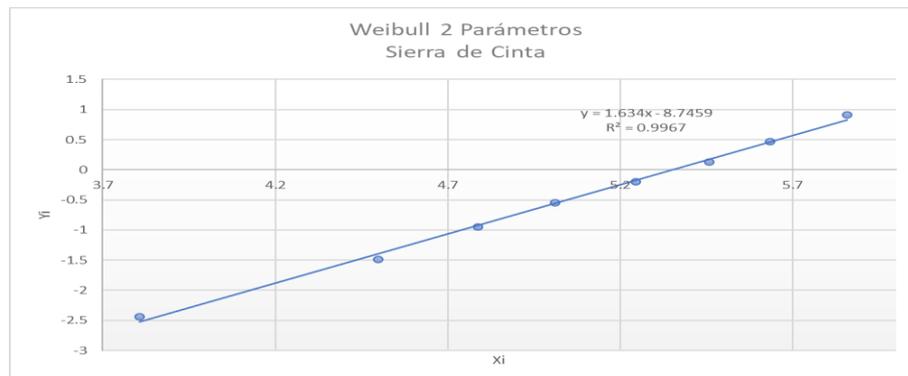


Ilustración 4-19: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

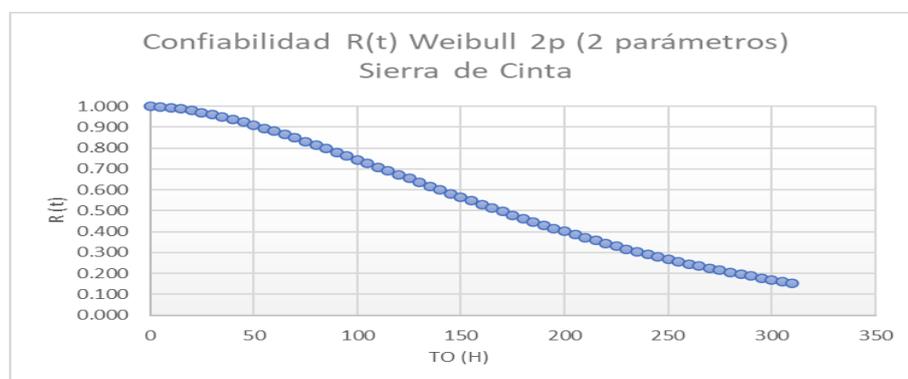


Ilustración 4-20: Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

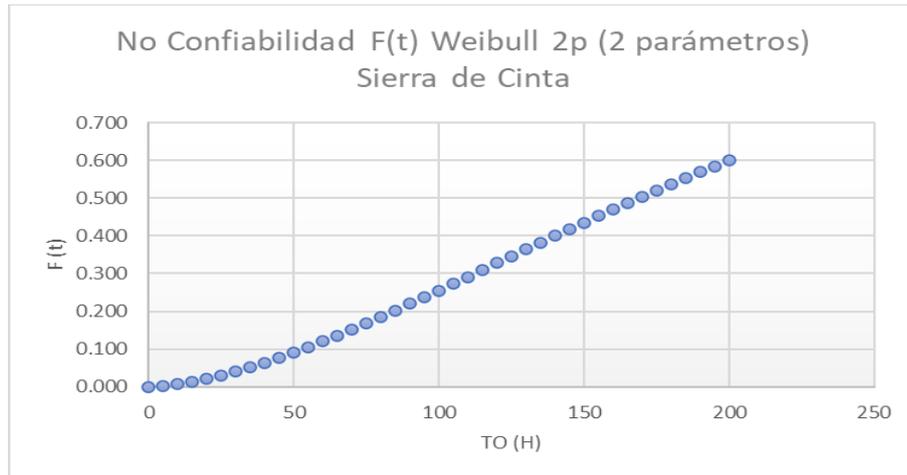


Ilustración 4-21: No Confiabilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

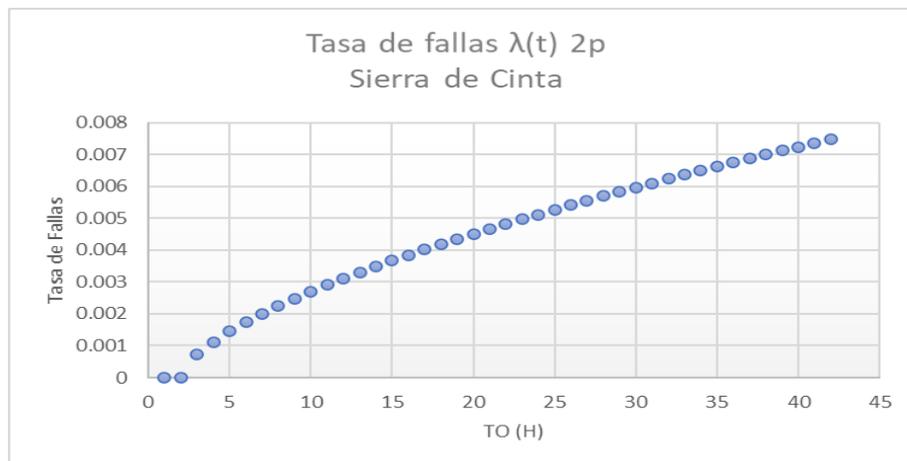


Ilustración 4-22: Tasa de fallas de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

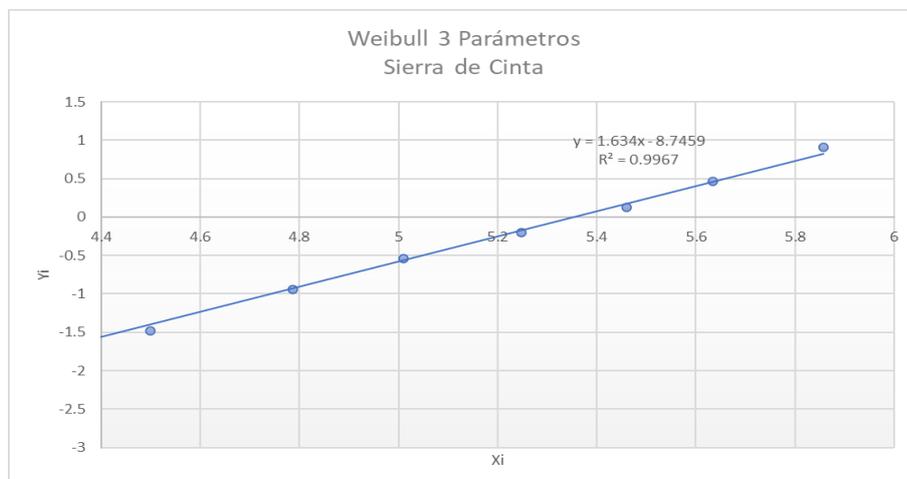


Ilustración 4-23: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

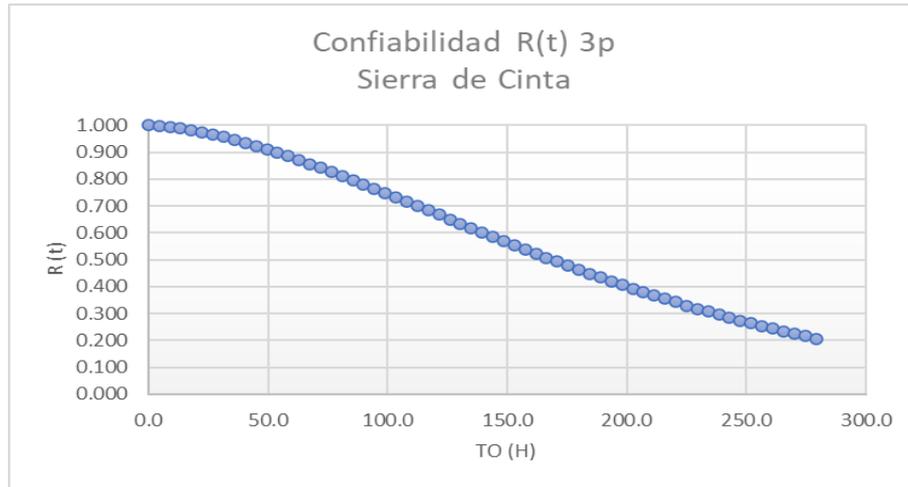


Ilustración 4-24: Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

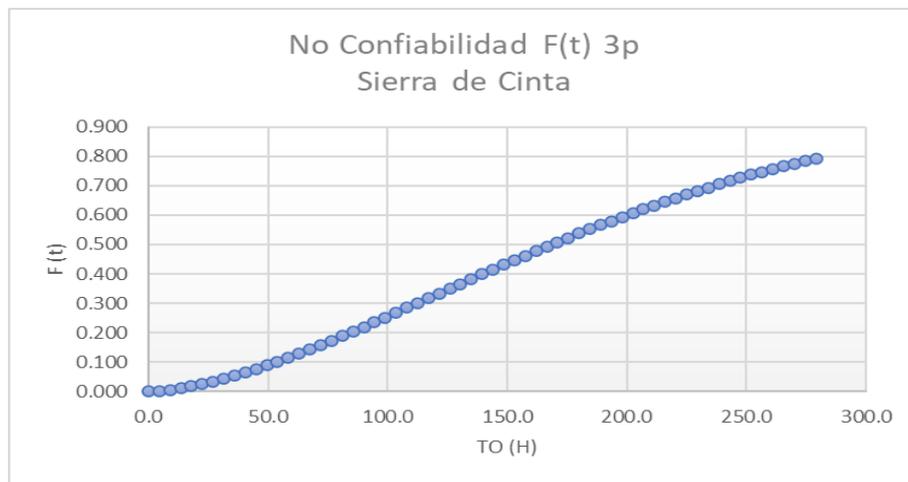


Ilustración 4-25: No Confiabilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

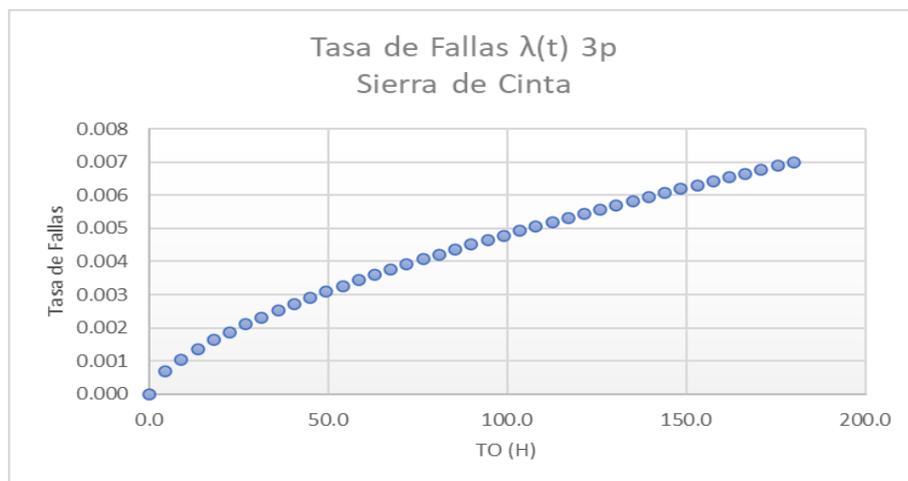


Ilustración 4-26: Tasa de fallos de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

4.2.1.4. Análisis de Weibull, mantenibilidad (Sierra de Cinta)

Tabla 4-7: Resultados Weibull Sierra de Cinta (mantenibilidad)

Análisis de Weibul en mantenimiento Correctivo

MANTENIBILIDAD

Orden (i)	Tiempo (t) reparación	RM[F(t)]	Cálculo Bi Paramétrico		Cálculo Tri Paramétrico	
			Xi	Yi	Xi	Yi
			Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]	Ln(t-δ)	Ln[Ln(1/1-F(t-δ))]
1	0.5	0.08333333	-0.693147181	-2.4417164	-0.693147181	-2.441716399
2	1.1	0.20238095	0.095310180	-1.48667096	0.09531018	-1.486670964
3	1.7	0.32142857	0.530628251	-0.94735442	0.530628251	-0.947354424
4	2.2	0.44047619	0.78845736	-0.54357405	0.78845736	-0.543574052
5	3	0.55952381	1.098612289	-0.19857426	1.098612289	-0.198574256
6	3.5	0.67857143	1.252762968	0.12661497	1.252762968	0.12661497
7	4.2	0.79761905	1.435084525	0.46850467	1.435084525	0.468504666
8	6	0.91666667	1.791759469	0.91023509	1.791759469	0.910235093

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

CÁLCULO BI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.362386931
Intercepto [b]	-1.586856006
Escala [θ]	3.205158742
Localización [δ]	0
Pruebas de ajuste	
r	0.997495865
r ²	0.994998001
Ideal r	1
Delta r	0.002504135
MTTR [h]	2.934392681
t	2.934392681
M(t)	0.587987864

CÁLCULO TRI PARAMÉTRICO	
Forma Pendiente [β]	1.362386931
Intercepto [b]	-1.586856006
Escala [θ]	3.205158742
Localización [δ]	0.00
Pruebas de ajuste	
r	0.997495865
r ²	0.994998001
Ideal r	1
Delta r	0.002504135
MTTR [h]	2.934392681
t	2.934392681
M(t)	0.587987864

Ilustración 4-27: Calculo de los parámetros para Weibull bi paramétrico y tri paramétrico

Fuente: (Moubray 2004)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Una vez calculados cada uno de los parámetros dentro de Weibull es necesario acotar que existen valores y/o cantidades numéricas que permiten abordar apropiadamente un modelo de mantenimiento. Para el caso del mantenimiento basado en la confiabilidad es fundamental que el parámetro de forma [β] tenga un valor inferior a 2.

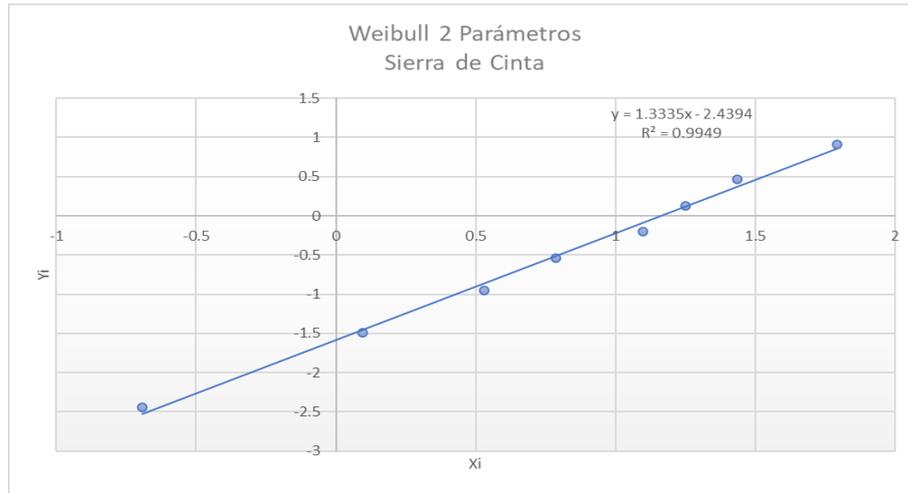


Ilustración 4-28: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

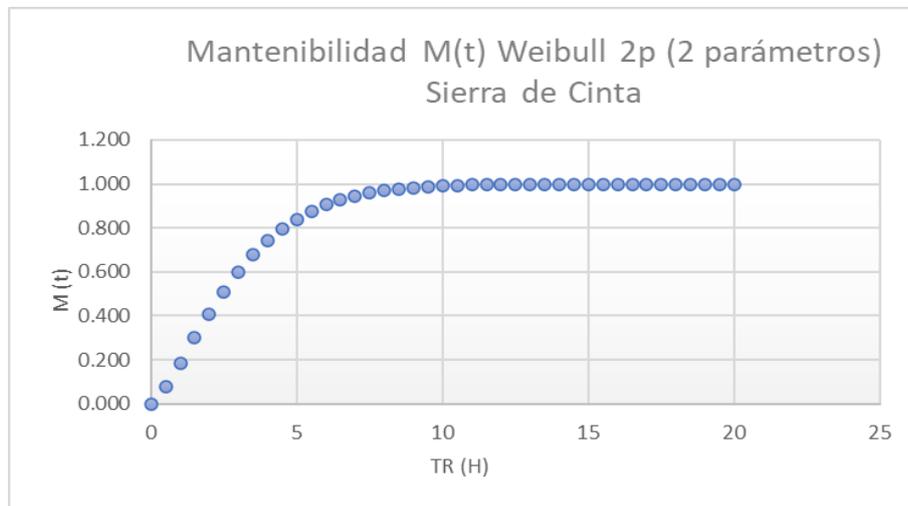


Ilustración 4-29: Mantenibilidad de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

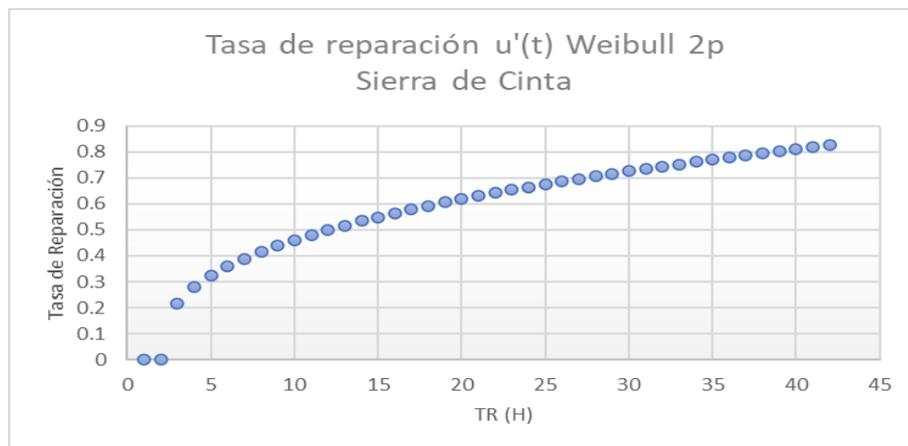


Ilustración 4-30: Tasa de reparación de Weibull – bi paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

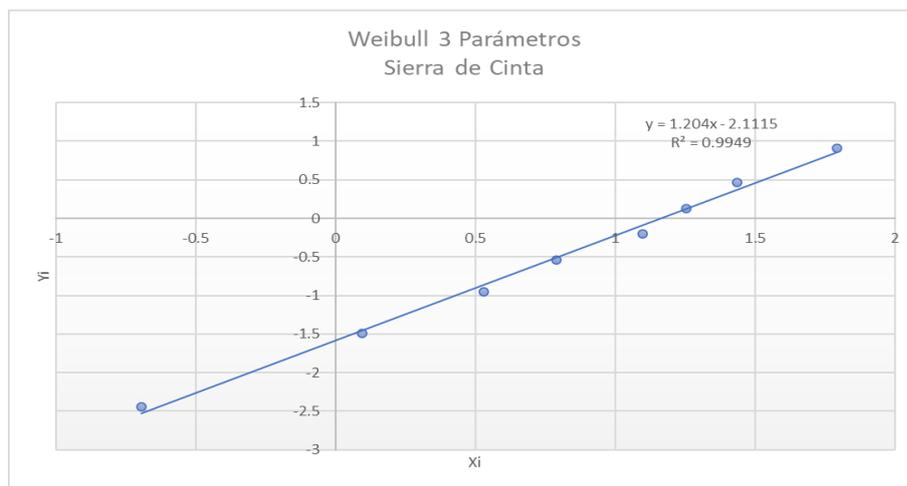


Ilustración 4-31: Gráfica de ajuste de los valores a la recta – cálculo tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

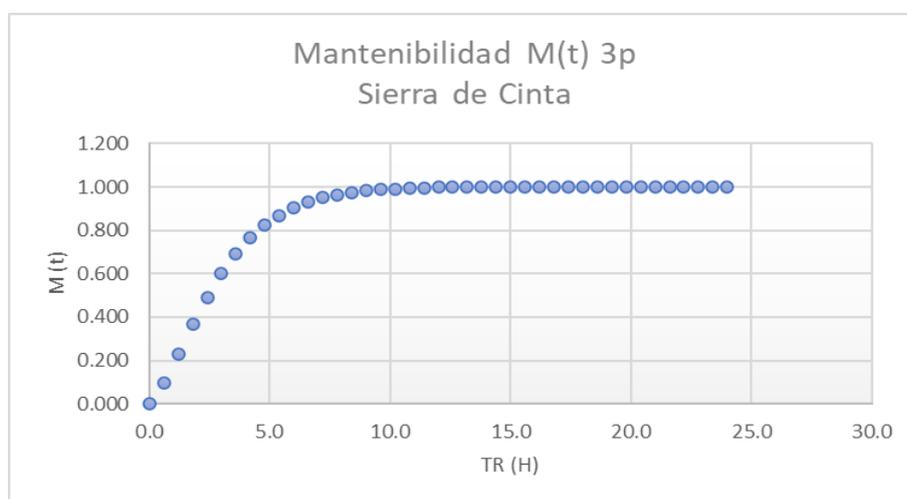


Ilustración 4-32: Mantenibilidad de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.



Ilustración 4-33: Tasa de reparación de Weibull – tri paramétrico

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Tabla 4-8: Tabla resumen de las mejoras

Máquinas	Confiabilidad		Manentibilidad		Factor de forma [β] Antes	Factor de forma [β] Después	Coeficiente de determinación [r ²]	Antes	Después
	MTBF [horas] Antes	MTBF [horas] Después	MTBF [horas] Antes	MTTR [horas] Después				Disponibilidad Inherente	
Limadora (MAAM001)	89.667	138.333	7.667	2.167	2.749	1.6268	0.9937	92.12%	98.53%
Sierra de Cinta (MAAM002)	68.375	162.500	5.888	2.800	2.399	1.6340	0.9968	92.07%	98.47%
Taladro fresador (MAAM003)	70.556	164.444	8.611	1.711	2.317	1.7018	0.9887	89.12%	99.19%
Torno CNC (MAAT004)	78.111	146.667	11.444	3.722	3.260	1.7446	0.9903	87.22%	97.52%
Torno Paralelo (MAAT005)	76.250	198.750	6.438	2.875	2.799	1.7606	0.9902	92.20%	98.70%
Dobladora Hidráulica (MAAS006)	53.500	146.750	7.188	2.713	3.513	1.4668	0.9897	84.86%	98.19%
							Promedio	89.60%	98.43%

Fuente: (Ma y Del Pino 1994).

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Se puede observar que después de aplicar tanto las hojas de información como decisión la disponibilidad de las máquinas se eleva con base en un 8.83% en promedio pues es la primera aplicación del plan. Sin embargo, se mantiene un valor alto de disponibilidad por ende la aplicación del plan tiene raíces fuertes y su aplicación a largo plazo será eficiente a la medida que las máquinas se orientan hacia su periodo de declive.

4.2.2. Producción después del mantenimiento

4.2.2.1. Ensayo de piezas

En este experimento se procede a tomar 10 partes del lote total de producción para ser medidas por tres operarios, mediante 2 réplicas y de forma aleatoria para tener un resultado más exacto. Una vez tabulados los resultados son ingresados al programa Minitab, el cual tiene herramientas útiles para generar los informes respectivos.

Tabla 4-9: Toma aleatoria de datos - Análisis de las piezas

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
1	10	OP1	101.49
2	6	OP1	101.53
3	7	OP1	101.54
4	3	OP1	101.48
5	8	OP1	101.49
6	1	OP1	101.55
7	4	OP1	101.54
8	2	OP1	101.48
9	9	OP1	101.52
10	5	OP1	101.51

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
31	6	OP1	101.53
32	10	OP1	101.49
33	3	OP1	101.48
34	9	OP1	101.52
35	5	OP1	101.5
36	4	OP1	101.53
37	7	OP1	101.52
38	2	OP1	101.48
39	8	OP1	101.5
40	1	OP1	101.55

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
11	1	OP2	101.54
12	7	OP2	101.54
13	3	OP2	101.48
14	5	OP2	101.5
15	9	OP2	101.52
16	6	OP2	101.53
17	4	OP2	101.54
18	8	OP2	101.49
19	2	OP2	101.49
20	10	OP2	101.49

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
41	4	OP2	101.54
42	2	OP2	101.48
43	9	OP2	101.52
44	1	OP2	101.54
45	5	OP2	101.51
46	3	OP2	101.47
47	7	OP2	101.53
48	10	OP2	101.48
49	6	OP2	101.53
50	8	OP2	101.5

Orden 1era Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
21	3	OP3	101.48
22	5	OP3	101.51
23	8	OP3	101.49
24	4	OP3	101.53
25	1	OP3	101.54
26	10	OP3	101.48
27	7	OP3	101.53
28	2	OP3	101.48
29	9	OP3	101.52
30	6	OP3	101.53

Orden 2da Corrida	Partes	Operadores	Mediciones
51	7	OP3	101.53
52	10	OP3	101.49
53	3	OP3	101.48
54	1	OP3	101.54
55	5	OP3	101.51
56	9	OP3	101.52
57	6	OP3	101.53
58	4	OP3	101.54
59	2	OP3	101.48
60	8	OP3	101.49

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

4.2.2.2. Análisis en Minitab de elementos concernientes a la producción

Método

Partes: 10 Operadores: 3
 Réplicas: 2 Total de corridas: 60

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición : Variabilidad en la Medición
 Fecha del estudio: 2023-07-24
 Notificado por: Francisco Villacís
 Tolerancia: 0.1mm
 Misc: Empresa Proveedor Industrial

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Partes	9	0.0354017	0.0039335	125.686	0.000
Operadores	2	0.0000700	0.0000350	1.118	0.348
Partes * Operadores	18	0.0005633	0.0000313	1.105	0.394
Repetibilidad	30	0.0008500	0.0000283		
Total	59	0.0368850			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Partes	9	0.0354017	0.0039335	133.591	0.000
Operadores	2	0.0000700	0.0000350	1.189	0.313
Repetibilidad	48	0.0014133	0.0000294		
Total	59	0.0368850			

R&R del sistema de medición

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0000228	3.66
Repetibilidad	0.0000228	3.66
Reproducibilidad	0.0000000	0.00
Operadores	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0005988	96.34
Variación total	0.0006216	100.00

La tolerancia del proceso es = 0.2

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.0047726	0.028636	19.14	14.32
Repetibilidad	0.0047726	0.028636	19.14	14.32
Reproducibilidad	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operadores	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Parte a parte	0.0244709	0.146826	98.15	73.41
Variación total	0.0249320	0.149592	100.00	74.80

Número de categorías distintas = 7

En el porcentaje de contribución el R&R total nos arroja un valor muy por debajo del 30% y cercano al 10% lo que quiere decir que el sistema de medición es aceptable.

En el porcentaje de variación el R&R total nos arroja un valor por debajo del 30% lo que quiere decir que el sistema de medición es bueno.

Ilustración 4-34: Análisis de piezas en MiniTab (contexto de producción)

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Informe de R&R del sistema de medición (ANOVA) para Mediciones

Nombre del sistema de medición : Variabilidad en la Medi
 Fecha del estudio: 2023-07-24
 Notificado por: Francisco Villacís
 Tolerancia: 0.1mm
 Misc: Empresa Proveedor Industrial

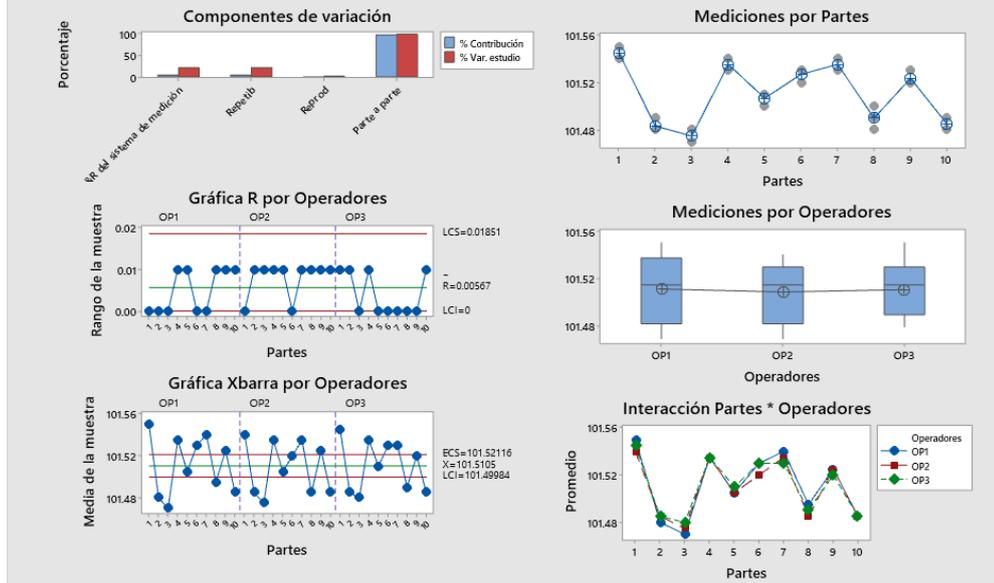


Ilustración 4-35: Informe R&R del sistema

Realizado por: Villacís Francisco., 2023.

Conclusión: una vez terminado el experimento para verificar la variabilidad que existe en las piezas, se determina que las partes evaluadas fueron medidas de manera correcta y los datos son validados de tal manera que la repetibilidad y la reproducibilidad alcanzan valores de medición aceptables y buenos, lo que nos dice que tanto el operador como el instrumento y las condiciones son las mismas, por último se puede decir que estas piezas están dentro del rango de tolerancia, lo que se considera una producción aceptable ante los requerimientos del contratista.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La recopilación de información permitió abordar de una manera clara y precisa la metodología que implica la aplicación de RMC en la empresa Provedora Industrial. Esta metodología se enfoca en salvaguardar las máquinas con el propósito de mantenerlas activas la mayor cantidad de tiempo posible para de esa manera no entorpecer la producción.

El diagnóstico in situ de la empresa permitió identificar que actualmente no posee un inventario de equipos a la par de una clasificación que permita su categorización e identificación. Por ende, se clasificó las máquinas de la empresa con base en su área de residencia, número de selección y análisis. Por otro lado, se efectuó una subdivisión a los componentes con el propósito de identificarlos y proporcionarles acciones correctivas o preventivas con base en hojas de información y decisión del RCM.

Las máquinas de la empresa Provedora Industrial posee una alta disponibilidad pues actualmente en un periodo de máximo trabajo y antes de entrar en su declive es necesario identificar cuantos componentes críticos poseen. El análisis mostro que el 40.83% de los componentes están en estado crítico, un notorio 40% son no críticos y, por último, el 19,17% son semicríticos de un total de 120 elementos analizados.

Se prepararon los registros y protocolos del plan de mantenimiento RCM, para la maquinaria y equipos críticos en el área de maquinado de la empresa Provedora Industrial con base en las consideraciones de la norma SAE JA1011 para mejorar los indicativos de productividad dentro de la empresa. El más común dentro de ellos es la disponibilidad inherente, misma que en promedio con base en el análisis de la distribución de Weibull fue del 92,12% hasta su culminación por medio de una seria de actividades correctivas en un 96.07%; es decir un casi un 3,95% de disponibilidad solo con una intervención.

Se elaboró un modelo de plan de mantenimiento RCM enfocado en extender la vida útil de las máquinas de la empresa objeto de estudio. Es importante resaltar que esta aproximación permitió la creación de un modelo de mantenimiento, raíces fuertes y su aplicación a largo plazo será eficiente a la medida que las máquinas se orientan hacia su periodo de declive.

En el contexto de producción, luego de concluir el experimento destinado a examinar las piezas, se establece que las partes analizadas fueron dimensionadas de manera precisa por lo tanto se refleja la alta confiabilidad de las máquinas; su promedio es del 97.43% con relación al 89.70% antes del mantenimiento. Los datos se verifican de tal manera que la capacidad de repetición y reproducción arroja resultados de medición satisfactorios. Esto indica que tanto el operador, el instrumento y las condiciones se mantienen constantes. En última instancia, podemos afirmar que estas piezas se encuentran dentro de los límites de tolerancia, lo que se considera una producción que cumple con los requisitos del contratista.

5.2. Recomendaciones

De manera similar, es fundamental efectuar las siguientes recomendaciones:

Una vez definido el plan se recomienda implementar el mismo con base en la metodología RCM propuesta en este trabajo.

Recopilar y reportar la información generada como parte de la gestión del mantenimiento con el propósito de alimentar el modelo con datos consistentes y constantes.

Establecer un orden de prioridad para la ejecución de las tareas de mantenimiento con base en la denominación de criticidad

En todo momento es fundamental mantener un registro de las instancias efectuadas en cada una de las máquinas por medio de los formatos para almacenar y comunicar información propuestos en este documento.

En lo que respecta a la producción se recomienda realizar un estudio R&R de manera periódica en lotes grandes, y pensar en la posibilidad de implementar cartas de control como otro KPI dentro de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AEROMAQUINADOS,** *Taladro Fresador.* Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>. 2021.
2. **BESTRATÉN, M., ORRIOLS, R. & MATA, C.,** NTP 679. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. [en línea]. Barcelona: [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: [https://cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP 679 - Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.pdf](https://cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP_679_-_Análisis_modal_de_fallos_y_efectos._AMFE.pdf).
3. **CAMPOS, O., TOLENTINO, G., MIGUEL, VELÁZQUEZ & TOLENTINO, R.,** Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Redalyc*, vol. 23, no. 1,
4. **CAMPOS, O., TOLENTINO, G., TOLEDO, M. & TOLENTINO, R.,** Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica* [en línea], vol. 23, no. 1, [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>.
5. **CARIAPAZA, E., ALMERÓN, M. & HUAMANI, B.,** *Normas que regulan la calidad del acero: Norma SAE.* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/normas-que-regulan-la-calidad-del-acero-norma-sae/#autores>.
6. **CATALINA, A. & ULLOA, M.,** Universidad del Azuay facultad de ciencia y tecnología escuela de ingeniería de la producción y operaciones Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), en el proceso de producción de tableros eléctricos de la Empresa EC-BOX. Trabajo de graduación previo a . . S.l.:
7. **CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA PARA LA INDUSTRIA,** *Qué es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>.
8. **CONSCIOUS, R.,** *Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023].

Disponible en: <https://consciousreliability.com/norma-sae-ja1011-criterios-de-evaluacion-para-procesos-de-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-rcm/>.

9. **DÍAZ, A., VILLAR, L., CABRERA, J., GIL, A., MATA, R. & RODRIGUEZ, A.,** Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica* [en línea], vol. 19, no. 3, [consulta: 19 mayo 2023]. ISSN 1815-5944. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000300003.
10. **ENGEMAN, RCM** – Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://blog.engeman.com/es/rcm/>.
11. **ESPÍN BARAHONA Hugo**, *El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa tenerá días cía. Ltda.* Tesis. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
12. **GONZÁLEZ SOSA, J.V., JIMÉNEZ DÍAZ, D.L., LOYO QUIJADA, J. & LÓPEZ ONTIVEROS, M.Á.,** AMEF como herramienta de la Industria 4.0 en el mantenimiento industrial. *Revista de la Ingeniería Industrial*, vol. 14, no. 1, ISSN 19402163.
13. **HERNÁNDEZ, A.C.,** Mantenimiento Industrial En Máquinas. *Google Académico*, 2018.
14. **IBAÑEZ, J.,** Descubre los 5 Tipos de Mantenimiento Industrial. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://inycomindustria.com/blog/mes/descubre-los-5-tipos-de-mantenimiento-industrial/>.
15. **ISOTOOLS, ¿**Qué es la Matriz AMFE o análisis modal de fallos y efectos? [en línea]. [consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.isotools.us/2019/07/12/matriz-amfe-o-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>.
16. **Mª, J. & DEL PINO, T.,** NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull. . S.l.:
17. **MANTENIMIENTO PETROQUÍMICA,**¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)? [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>.

18. **MANTENIMIENTO.WIN**, Todo acerca del mundo del mantenimiento. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://mantenimiento.win/>.
19. **MECANIZADOS GARRIGUEZ**, Tornos CNC. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/tornos-cnc/>.
20. **MOUBRAY, J.**, Realialbility Centred Maintenance. [en línea], Disponible en: <https://dokumen.tips/download/link/02-rcm-ii-john-moubray-libro-completo>.
21. **NIETO Steven**, Mantenimiento Industrial: Historia Del Mantenimiento. *Miércoles, 27 de mayo del 2009* [en línea]. Disponible en: <https://mantenimiento.win/historia-del-mantenimiento-industrial/>.
22. **OLARTE, W., BOTERO, M. & CAÑÓN, B.**, Importancia del Mantenimiento Industrial de los Procesos de Producción. *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 44, ISSN 0122-1701.
23. **PÉREZ, F.**, Gestión del mantenimiento industrial. , 2021.
24. **PRODUCTION TOOL**,¿Qué es una dobladora de tubos? Definición y funcionamiento . *Herramientas Industriales* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://productiontools.es/herramientas-industriales/dobladora-de-tubos-definicion/#:~:text=O%20%20C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20dobladora,pieza%20y%20evitar%20su%20rotura>.
25. **ROJAS LEMA, S.**, Implementación de análisis modal de fallos y efectos (AMFE). *3C Tecnología_Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, vol. 29, no. 1, DOI 10.17993/3ctecno/2019.v8n1e29/64-75.
26. **ROMERO, F. & MOLINA, R.**, *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP*. S.l.: s.n.
27. **SÁNCHEZ, L.**, *Plan de negocios para fortalecer la gestión administrativa de la empresa «Proveedor industrial» en la ciudad de Riobamba*. S.l.: s.n.
28. **SERVICIO DE SALUD Y RIESGOS LABORALES**, Ficha de Prevención: El Torno Paralelo. *Ficha de prevención: El Torno Paralelo* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en:

https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10_Informaci%C3%B3n/09_M%C3%A1quinas_herramienta/Torno_paralelo.pdf.

29. WIKIPEDIA, *Limadora*. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Limadora>.

ANEXOS

ANEXO A: FICHAS TÉCNICAS DE LAS MAQUINARIAS DE LA EMPRESA PROVEEDORA INDUSTRIAL

Tabla Ficha Técnica Torno CNC

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			Fecha:	14/6/2023			
					Vigencia:	14/6/2024			
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS			Autor:	Francisco Villacis			
Máquina	x	Componente		Sistema		Área			
Nombre	Torno CNC	Código	MA004						
Modelo	CK 6136A-2	Recorrido del eje X	330mm						
Serie	150614	Velocidad del cabezal	100-1800rpm						
Voltaje	380 V	Recorrido del eje Z	750/1000/1500/2000 mm						
Frecuencia	50 Hz	Dimensiones	750/1000/1500/2000 mm						
Max. Oscilación sobre carro transversal	360mm	Diámetro de la camisa del contrapunto	75 mm						
Husillo	52 mm	Capacidad de Producción	100 juegos al mes						
Motor	5.5 Hp	Estado	Semi optimo						
Función	Mecanizar piezas de revolución mediante la aplicación de software CAD.								
Manual: https://es.made-in-china.com/co_lmachine/product_High-precision-horizontal-metal-small-CK6136-CNC-turning-									

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla Ficha Técnica Torno Paralelo

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			Fecha:	14/6/2023			
					Vigencia:	14/6/2024			
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS			Autor:	Francisco Villacis			
Máquina	x	Componente		Sistema		Área			
Nombre	Torno Paralelo	Código	MA005						
Modelo	TD-1340	Anchura de bancada	390 mm						
Altura de puntos	330 mm	Longitud del escote	240 mm						
Voltaje	380 V	Agujero del husillo principal	105 mm						
Frecuencia	50 Hz	Avance longitudinal	0,028-6,43 mm/min						
Distancia entre puntos	660 mm	Avance transversal	0,012-2,73 mm/min						
Diámetro admitido sobre escote	870 mm	Pasos del husillo patrón	Ø 40 X 12 DP						
Motor	7.5 Hp	Estado	Semi optimo						
Función	Transformar un sólido en una pieza mecanizada de características particulares.								
Manual: https://www.hellermquinaria.com/catalogo/torno-paralelo-heller-ce660vx1500/#nav-ficha-tecnica-t									

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla Ficha Técnica Dobladora Hidráulica

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			Fecha:	14/6/2023		
					Vigencia:	14/6/2024		
		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS Y EQUIPOS			Autor:	Francisco Villacis		
Máquina	x				Componente		Sistema	
Nombre	Dobladora Hidráulica	Código	MA006					
Modelo	N/A	Punzón	PS.135.85.R08					
Alto	1600 mm	Fuerza	630 KN					
Largo	800 mm	Espesor entre columnas	600 mm					
Ancho	600 mm	Espesor de trabajo	3-4 mm					
Voltaje	120 V	Pistón	Hidráulico					
Frecuencia	50 Hz	Longitud de trabajo	450 mm					
Amperaje	25 A	Estado	Semi optimo					
Función	Realizar moldeos y curvaturas en tubos metálicos							
Manual:	N/A							

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO B: DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE LA MAQUINARIA

Tabla Descripción de componentes del taladro fresador

#	Componentes	Función	Estado	Observaciones / condición
MA003002	Barra carro mesa eje z	Permitir el movimiento del carro con respecto al eje z	Funcional	Barra presenta remanentes de trabajos anteriores
MA003003	Barra carro mesa eje y	Permitir el movimiento del carro con respecto al eje y	Funcional	
MA003004	Barra tope	Definir el alcance máximo de la herramienta de trabajo	Atención pronta	La barra presenta datos por golpes durante trabajos anteriores
MA003005	Bloqueo	Limitar el movimiento de los ejes	Funcional	No se evidencian daños
MA003006	Broca	Perforar y desbastar el material	Funcional	No se evidencian daños
MA003007	Cableado	Transmitir la energía eléctrica del sistema hacia el motor	Funcional	No se evidencian daños
MA003008	Carcasa	Alojar todos los componentes del sistema	Funcional	Guía recubierta de polvo
MA003009	Carro	Permitir el desbaste de la pieza entre ejes coordinados	Funcional	El carro presenta remanentes del polvo
MA003010	Defensa Cinta	Mantener el esfuerzo del sistema en una sola dirección	Funcional	La cinta presenta daños elásticos
MA003011	Espárrago equilibrador	Dissipar la carga del sistema	Funcional	No se evidencian daños
MA003012	Mando tensor	Tensor y transmitir el movimiento del sistema de desbaste y perforado	Funcional	No se evidencian daños
MA003013	Mandril	Alojar la herramienta de trabajo	Funcional	Mandril presenta golpes
MA003014	Manija	Manipular la altura de la herramienta de trabajo con relación	Funcional	No se evidencian daños
MA003015	Motor	Convertir la energía eléctrica en mecánica	Funcional	Motor requiere recubrimiento
MA003016	Paena	Evitar la intermitencia del sistema eléctrico	Funcional	No se evidencian daños
MA003017	Palanca	Limitar el movimiento al respecto del eje y	Funcional	Palanca presenta golpes de trabajos anteriores
MA003018	Polea loca	Transmitir y variar el avance de la máquina	Funcional	Sistema obsoleto pero funcional
MA003019	Sistema de encendido	Encender o apagar el sistema	Funcional	Sistema obsoleto pero funcional
MA003020	Sujetador	Eliminar el peligro de choque eléctrico de la máquina	Atención pronta	Sujetador cedido
Análisis		Inspección Visual: La máquina evidencia ciertos daños totalmente manejables con respecto a la carga de trabajo. Por ende, requiere de desarrollo de acciones preventivas para salvaguardar la integridad de la máquina.		
		Entrevista:		

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Descripción de componentes del torno CNC

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		Fecha:	14/6/2023	
			Vigencia:	14/6/2024	
	TORNO CNC		Autor:	Francisco Villacis	
Código			Componentes	Función	Estado
MA004001	Bancada	Mantener estable la máquina	Funcional	La bancada presenta corrosión	
MA004002	Carcasa	Albergar los componentes de la máquina	Funcional	La carcasa denota pérdida de recubrimiento	
MA004003	Cabezal motor	Transmitir el movimiento del sistema	Funcional	No se evidencian daños	
MA004004	Carro del torno	Manipular la pieza al respecto de la geometría deseada	Funcional	No se evidencian daños	
MA004005	Carro orientable	Orientar el sentido del desvaste	Funcional	No se evidencian daños	
MA004006	Carro transversal	Modificar la geometría de la pieza	Funcional	El carro presenta ruidos debido a la limpieza	
MA004007	Contrapunto	Orientar el sentido de la pieza de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA004008	Delantal/Contrapunto	Contrastar el sentido de avance de la pieza	Funcional	El contrapunto presenta daños debido a trabajos	
MA004009	Eje de cilindrar	Desvastar la geometría de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA004010	Eje de roscar	Roscar la pieza de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA004011	Eje principal	Permitir el movimiento del carro deslizante	Funcional	No se evidencian daños	
MA004012	Husillo	Transmitir el movimiento de las muelas	Funcional	Husillo presenta golpes en su estructura física	
MA004013	Manivela de contrapunto	Orientar el punto cero de la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA004014	Plato	Albergar la pieza de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA004015	Seguro del contrapunto	Mantener el sistema estable al momento del proceso de desbaste	Funcional	No se evidencian daños	
MA004016	Sistema de control	Delinear el comportamiento del sistema	Funcional	El sistema debe ser reemplazado por elementos actuales (la programación funcional sin mayor demora)	
MA004017	Toreta	Inclinar la herramienta de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA004018	Tornillo guía	Permitir el traslado del carro de trabajo	Funcional		
MA004019	Tornillo nivelador	Nivelar la inclinación del sistema	Funcional		
MA004020	Torre portaherramienta	Albergar la herramienta de trabajo	Atención pronta	La torre genera que la herramienta vibre	
Análisis		Inspección Visual: El elemento que necesita mayor atención hace referencia a la integridad física del recubrimiento de la máquina. Por otro lado, en toda la máquina existen golpes debido a trabajos anteriores.			
		Entrevista:			

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Descripción de componentes del torno paralelo

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		Fecha:	14/6/2023
				Vigencia:	14/6/2024
		TORNO PARALELO		Autor:	Francisco Villacis
Código	Componentes			Función	Estado
MA005001	Bancada	Mantener estable la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA005002	Carcasa	Albergar los componentes de la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA005003	Cableado	Transmitir la corriente eléctrica de la fuente al sistema	Funcional	Cableado quemado por elevación de tensión	
MA005004	Carro del torno	Manipular la pieza al respecto de la geometría deseada	Funcional	No se evidencian daños	
MA005005	Carro orientable	Orientar el sentido del desvaste	Funcional	El carro presenta daños por uso	
MA005006	Carro transversal	Modificar la geometría de la pieza	Funcional	No se evidencian daños	
MA005007	Contrapunto	Orientar el sentido de la pieza de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA005008	Delantal/Contrapunto	Contrastar el sentido de avance de la pieza	Funcional	Contrapunto presenta daños y/o magulladoras	
MA005009	Eje de cilindrar	Desvistar la geometría de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA005010	Eje	Roscar la pieza de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA005011	Eje principal	Permitir el movimiento del carro deslizante	Funcional	No se evidencian daños	
MA005012	Husillo	Transmitir el movimiento de las muelas	Funcional	No se evidencian daños	
MA005013	Manivela	Bloquear el punto cero de la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA005014	Motor	Transformar la energía eléctrica en mecánica	Funcional	El motor requiere de mantenimiento debido a vibraciones	
MA005015	Seguro	Mantener el sistema estable al momento del proceso de desbaste	Atención pronta	El seguro de la máquina está averiado	
MA005016	Perrillas	Delinear el comportamiento del sistema	Atención pronta	Se requiere el reemplazo de pulsadores	
MA005017	Toreta	Inclinar la herramienta de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA005018	Tornillo guía	Permitir el traslado del carro de trabajo	Funcional	El tornillo presenta golpes	
MA005019	Tornillo nivelador	Nivelar la inclinación del sistema	Funcional	La torre necesita ser apuntalada	
MA005020	Torre portaherramienta	Albergar la herramienta de trabajo	Funcional	La torre necesita ser apuntalada	
Análisis		Inspección Visual: De acuerdo con la inspección visual el sistema no presenta mayor problema al momento de efectuar sus actividades rutinarias. Sin embargo se debe efectuar un cambio de suma urgencia; este el caso del seguro y las perrillas.			
		Entrevista:			

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Descripción de componentes de la dobladora hidráulica

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		Fecha:	14/6/2023
		DOBLADORA HIDRAÚLICA		Vigencia:	14/6/2024
				Autor:	Francisco Villacis
#	Componentes	Función	Estado	Observaciones / condición	
MA006001	Barra de torsión	Mantener la estabilidad de la máquina	Atención pronta	La barra de torsión requiere ser reemplazada	
MA006002	Bomba de lubricación	Transmitir el fluido de lubricación	Funcional	La bomba necesita de abarzaderas	
MA006003	Botón de paro	Parar el funcionamiento de la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA006004	Caja eléctrica	Alimentar el sistema y/o máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA006005	Cilindro Hidráulico	Doblar el material de trabajo	Funcional	Limpieza del sistema hidráulico	
MA006006	Contactador principal	Transmitir la energía del sistema	Funcional	No se evidencian daños	
MA006007	Contador de revoluciones	Mostrar la velocidad de avance	Funcional	No se evidencian daños	
MA006008	Cubierta cilindro	Alojar el cilindro	Funcional	La cubierta requiere de recubrimiento	
MA006009	Cuchilla	Definir el molde de dobles del material	Funcional	Reemplazar la cuchilla	
MA006010	Cureña	General el ajuste móvil de la cuchilla	Atención pronta	No se evidencian daños	
MA006011	Dado	Proporcionar la geometría de dobles	Funcional	Reapuntular el dado	
MA006012	Hand Auto	Activar el sistema de la máquina	Funcional	No se evidencian daños	
MA006013	Levas	Transmitir la presión del cilindro	Funcional	No se evidencian daños	
MA006014	Manómetro	Mostrar la presión de trabajo	Funcional	Limpieza del manómetro	
MA006015	Microswitches	Abrir o cerrar el circuito eléctrico	Funcional	No se evidencian daños	
MA006016	Mordaza Inferior	Alojar la cuchilla de trabajo	Funcional	No se evidencian daños	
MA006017	Mordaza Superior		Funcional	No se evidencian daños	
MA006018	Motor de transmisión	Transmitir e iniciar el sistema de doblado	Funcional	El motor requiere mantenimiento	
MA006019	Nervio mordaza	Reemplazar la mordaza	Atención pronta	No se evidencian daños	
MA006020	Patas	Estabilizar la máquina	Funcional	Las patas de la máquina necesitan de recubrimiento	
Análisis		Inspección Visual: La máquina no presenta daños extensos en su estructura física; sin embargo no es necesario abordar ciertos cambios como es el caso del nervio y la cureña			
		Entrevista:			

Fuente: Autor, (2023)

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO C: CONTEXTO OPERACIONAL DE LA MAQUINARIA

Tabla Contexto Operacional Taladro Fresador

Máquina: Taladro fresador	Código: MAAM003
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	Una máquina taladro fresador combina las funciones de un taladro y un fresador en una sola máquina. Funciona mediante un motor que impulsa una herramienta de corte, que puede ser una broca o una fresa, para realizar operaciones de perforación, avellanado, roscado y fresado en piezas metálicas. La máquina se controla ajustando la velocidad de giro, la profundidad de corte y la posición de la herramienta, y se utiliza una mesa de trabajo ajustable para sujetar y posicionar la pieza de trabajo.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	El departamento de seguridad y el departamento de producción crearon un reglamento interno para el manejo de la máquina, el cual establece que los empleados deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad, guantes, zapatas puntas de acero y protectores auditivos, además se establezcan pautas para la manipulación segura de las piezas y la limpieza de la zona de trabajo.
PROCESO Y OPERACIÓN	La operación y el mantenimiento de un taladro fresador incluyen el ajuste de los parámetros de corte, como la velocidad de rotación, el avance y la profundidad, la selección de la herramienta de corte adecuada y el ajuste de la mesa de trabajo. Luego, la máquina se activa accionando el motor eléctrico y moviendo la herramienta de corte en forma circular o lineal para realizar la operación requerida.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	El uso de máquinas taladradoras fresadoras puede causar efectos ambientales como el consumo de energía, la producción de desechos metálicos y el ruido que puede ocurrir durante la operación. Para reducir estos impactos, se recomienda utilizar materiales energéticamente eficientes, implementar sistemas adecuados de gestión de residuos para reciclar o eliminar los residuos metálicos y seguir las normas y reglamentos ambientales relacionados con el control del ruido y el temblor.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	La operación de la máquina implica peligros que incluyen el contacto accidental con herramientas de corte que pueden causar cortes o lesiones graves, el riesgo de romperse las manos y los pies con las piezas móviles de la máquina, la posibilidad de que salgan pedazos de metal o virutas, el riesgo de caerse mientras se trabaja o se levantan mercancías y la exposición. hay ruido y vibraciones, que pueden afectar la salud auditiva y causar problemas musculares.

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Contexto Operacional Torno CNC

Máquina: Torno CNC	Código: MAAT004
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	Un torno CNC es una máquina herramienta utilizada para mecanizar piezas de forma precisa y automatizada. Su funcionamiento se basa en un programa de control que establece las coordenadas y movimientos de la herramienta de corte. El programa se carga en la computadora del torno CNC, que interpreta las instrucciones y controla los movimientos de los ejes de la máquina. Mediante el giro de la pieza de trabajo y el avance controlado de la herramienta de corte, se realizan operaciones como el torneado, taladrado, roscado y fresado, con alta precisión y repetibilidad.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	Se establece que los empleados que van a utilizar el torno CNC deben tener conocimiento de código G y manejo máquinas CNC, además deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad, guantes, zapatos puntas de acero y protectores auditivos, además se establezcan pautas para la manipulación segura de las piezas y la limpieza de la zona de trabajo.
PROCESO Y OPERACIÓN	El proceso de operación de un torno CNC implican la programación de las instrucciones necesarias para realizar las operaciones de mecanizado requeridas. Esto incluye la selección de herramientas de corte adecuadas, la fijación de la pieza de trabajo en el cabezal del torno y la configuración de los parámetros de corte, como la velocidad de giro y el avance. Una vez programado, el torno CNC se pone en marcha y ejecuta automáticamente las operaciones según las instrucciones del programa. Durante la operación, es fundamental vigilar el proceso, realizar inspecciones periódicas y ajustar los parámetros según sea necesario para garantizar la calidad y precisión del mecanizado.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	El uso de máquinas CNC consume mucha energía, además genera desechos metálicos. Para reducir estos impactos, se recomienda utilizar materiales energéticamente eficientes, implementar sistemas adecuados de gestión de residuos para reciclar o eliminar los residuos metálicos.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	Los riesgos a la seguridad que implica el manejo de un torno CNC son principalmente los siguientes: corte por las partes móviles del torno, proyección de virutas o piezas, contacto con sustancias nocivas, incendio o explosión por chispas o sobrecalentamiento, y exposición a ruidos y vibraciones.

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Contexto Operacional Torno Paralelo

Máquina: Torno Paralelo	Código: MAAT005
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	Un torno paralelo funciona mediante un cabezal que contiene un husillo que hace girar la pieza sujeta en el plato de garras. El husillo se acciona por poleas y se regula su velocidad según el trabajo a realizar. La herramienta de corte se monta sobre un carro que se desplaza sobre unas guías paralelas al husillo, siguiendo las instrucciones de un software que controla el movimiento y la velocidad de la herramienta.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	Se establece que los empleados que van a utilizar el torno paralelo deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad, guantes, zapatos puntas de acero y protectores auditivos, además se establezcan pautas para la manipulación segura de las piezas y la limpieza de la zona de trabajo.
PROCESO Y OPERACIÓN	El proceso de torneado consiste en arrancar material de la superficie de una pieza cilíndrica o prismática mediante una herramienta de corte. La operación se realiza sujetando la pieza en el plato de garras y haciendo girar el husillo a una velocidad determinada. La herramienta de corte se mueve a lo largo del eje longitudinal o transversal de la pieza, según el perfil que se quiera obtener.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	El uso de un torno paralelo puede generar afectaciones medioambientales por el consumo de energía eléctrica, la generación de residuos peligrosos (aceites, lubricantes, virutas metálicas, etc.) y la emisión de ruidos y vibraciones.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	Los riesgos a la seguridad que implica el manejo de un torno paralelo son: corte por las partes móviles del torno, proyección de virutas o piezas, contacto con sustancias nocivas, incendio o explosión por chispas o sobrecalentamiento, exposición a ruidos y vibraciones.

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Contexto Operacional Dobladora Hidráulica

Máquina: Dobladora Hidráulica	Código: MAAS006
CONTEXTO OPERACIONAL	
FUNCIONAMIENTO	Una dobladora hidráulica funciona mediante un sistema hidráulico que acciona unos cilindros que ejercen presión sobre el tubo o la lámina que se quiere doblar. El sistema hidráulico se compone de una bomba, un depósito, unas válvulas y unos conductos por donde circula el aceite a presión. El tubo o la lámina se coloca entre unos moldes o matrices que le dan la forma deseada.
ASPECTOS CLIMÁTICOS	La máquina se encuentra dentro del galpón de la empresa, estando bajo cubierta.
NORMAS Y REGLAMENTOS	Se establece que los empleados que van a utilizar el torno paralelo deben usar equipos de protección personal como: gafas de seguridad, guantes, zapatos puntas de acero y protectores auditivos, además se establezcan pautas para la manipulación segura de las piezas y la limpieza de la zona de trabajo.
PROCESO Y OPERACIÓN	El proceso de doblado consiste en deformar el tubo o la lámina de metal mediante la aplicación de una fuerza externa que supera el límite elástico del material. La operación se realiza colocando el tubo o la lámina entre los moldes o matrices que se ajustan al radio de curvatura requerido. Los cilindros hidráulicos empujan los moldes o matrices contra el tubo o la lámina, provocando su flexión.
AFECTACIONES MEDIOAMBIENTALES	El uso de la dobladora hidráulica puede generar afectaciones medioambientales por el consumo de energía eléctrica, la generación de residuos peligrosos (aceites, lubricantes, virutas metálicas, etc.) y la emisión de ruidos y vibraciones.
RIESGOS A LA SEGURIDAD	Los riesgos de seguridad asociados con el manejo de cuatro dobladoras hidráulicas son los siguientes: ser aplastado o cortado por piezas de maquinaria en movimiento, residuos metálicos desechados, contacto con materiales peligrosos, incendio o explosión debido a caídas o sobrecalentamiento, exposición a ruidos y vibraciones.

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO D: MATRIZ DE CRITICIDAD PARA LOS COMPONENTES DE LA MAQUINARIA

Tabla: Valoración de la matriz criticidad del taladro fresador

Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA003001	Bancada	6	1	2	1	9	1	9
MA003002	Barra carro mesa eje z	10	1	2	1	13	1	13
MA003003	Barra carro mesa eje y	10	1	2	1	13	1	13
MA003004	Barra tope	6	1	2	1	9	1	9
MA003005	Bloqueo	6	1	2	1	9	2	18
MA003006	Broca	6	1	2	1	9	2	18
MA003007	Cableado	6	2	2	1	15	1	15
MA003008	Carcasa	4	2	1	1	10	1	10
MA003009	Carro	6	2	1	1	14	1	14
MA003010	Defensa Cinta	10	2	1	1	22	1	22
MA003011	Espárrago equilibrador	4	1	1	1	6	1	6
MA003012	Mando tensor	6	1	1	1	8	1	8
MA003013	Mandril	10	1	2	1	13	2	26
MA003014	Manija	10	1	2	1	13	2	26
MA003015	Motor	10	1	2	1	13	2	26
MA003016	Paena	2	2	1	2	7	2	14
MA003017	Palanca	2	2	1	1	6	1	6
MA003018	Polea loca	2	1	1	1	4	1	4
MA003019	Sistema de encendido	10	2	2	1	23	1	23
MA003020	Sujetador	6	2	2	1	15	1	15

Realizado por: Villacis F., 2023



Tabla: Valoración de la matriz criticidad del torno CNC

	Nº. Matriz Criticidad:		Máquina:	Torno CNC	<h1>Matriz Criticidad</h1>			
	Responsable:		Subsistema:					
	Elaborador por:		Fecha de Elaboración:					
	Revisado por:		Fecha de revisión:					
Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA004001	Bancada	6	1	1	1	8	1	8
MA004002	Carcasa	6	2	1	1	14	1	14
MA004003	Cabezal motor	6	2	1	1	14	2	28
MA004004	Carro del torno	10	2	1	2	23	1	23
MA004005	Carro orientable	4	2	1	2	11	2	22
MA004006	Carro transversal	4	1	1	2	7	1	7
MA004007	Contrapunto	4	1	1	2	7	2	14
MA004008	Delantal/Contrapunto	4	1	1	1	6	1	6
MA004009	Eje de cilindrar	10	1	1	1	12	2	24
MA004010	Eje de roscar	6	1	1	1	8	1	8
MA004011	Eje principal	6	1	1	1	8	2	16
MA004012	Husillo	6	1	1	1	8	1	8
MA004013	Manivela de contrapunto	6	1	2	1	9	3	27
MA004014	Plato	10	1	1	1	12	2	24
MA004015	Seguro del contrapunto	10	1	1	1	12	2	24
MA004016	Sistema de control	2	2	1	2	7	2	14
MA004017	Torreta	2	1	1	1	4	1	4
MA004018	Tornillo guía	2	1	1	1	4	1	4
MA004019	Tornillo nivelador	4	1	1	1	6	2	12
MA004020	Torre porta herramienta	4	1	1	1	6	3	18

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Valoración de la matriz criticidad del torno paralelo

	Nº. Matriz Criticidad:		Máquina:	Torno Paralelo	<h1>Matriz Criticidad</h1>			
	Responsable:		Subsistema:					
	Elaborador por:		Fecha de Elaboración:					
	Revisado por:		Fecha de revisión:					
Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA005001	Bancada	6	1	1	2	9	1	9
MA005002	Carcasa	10	2	2	1	23	1	23
MA005003	Cableado	6	2	2	1	15	2	30
MA005004	Carro del torno	6	2	2	1	15	1	15
MA005005	Carro orientable	6	2	2	1	15	2	30
MA005006	Carro transversal	6	1	2	1	9	1	9
MA005007	Contrapunto	10	1	2	1	13	2	26
MA005008	Delantal/Contrapunto	4	1	1	1	6	1	6
MA005009	Eje de cilindrar	6	1	1	1	8	2	16
MA005010	Eje	4	1	1	1	6	1	6
MA005011	Eje principal	4	1	1	1	6	2	12
MA005012	Husillo	10	1	1	1	12	1	12
MA005013	Manivela	4	1	1	1	6	2	12
MA005014	Motor	4	1	2	1	7	2	14
MA005015	Seguro	4	1	2	1	7	2	14
MA005016	Perrillas	4	2	1	2	11	2	22
MA005017	Torreta	4	1	1	1	6	1	6
MA005018	Tornillo guía	6	1	1	1	8	1	8
MA005019	Tornillo nivelador	10	1	1	1	12	2	24
MA005020	Torre porta herramienta	4	1	1	1	6	1	6

Realizado por: Villacis F., 2023

Tabla: Valoración de la matriz criticidad de la Dobladora Hidráulica

	Nº. Matriz Criticidad:		Máquina:	Dobladora Hidráulica	<h1>Matriz Criticidad</h1>			
	Responsable:		Subsistema:					
	Elaborador por:		Fecha de Elaboración:					
	Revisado por:		Fecha de revisión:					
Código	Componentes	Consecuencias				Valoración		
		Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos MMT	Impacto SAH	Total	Frecuencia de Fallos	Criticidad
MA006001	Barra de torsión	6	1	1	1	8	1	8
MA006002	Bomba de lubricación	10	2	2	1	23	1	23
MA006003	Botón de paro	10	2	2	1	23	2	46
MA006004	Caja eléctrica	6	2	2	2	16	1	16
MA006005	Cilindro Hidráulico	6	2	2	2	16	2	32
MA006006	Contactador principal	6	1	2	1	9	1	9
MA006007	Contador de revoluciones	10	1	2	1	13	2	26
MA006008	Cubierta cilindro	4	1	1	1	6	1	6
MA006009	Cuchilla	6	1	1	1	8	2	16
MA006010	Cureña	4	1	1	1	6	1	6
MA006011	Dado	4	1	1	1	6	2	12
MA006012	Hand Auto	10	1	1	1	12	1	12
MA006013	Levas	2	1	1	1	4	2	8
MA006014	Manómetro	2	1	2	1	5	2	10
MA006015	Microswitches	2	1	2	1	5	2	10
MA006016	Mordaza Inferior	2	2	1	2	7	2	14
MA006017	Mordaza Superior	2	1	1	1	4	1	4
MA006018	Motor de transmisión	2	1	1	1	4	1	4
MA006019	Nervio mordaza	10	1	1	1	12	2	24
MA006020	Patas	4	1	1	2	7	1	7

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO E: HOJAS DE INFORMACIÓN DE LA MAQUINARIA

Hoja de información del Taladro Fresador

Máquina		Función	Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla	
Taladro fresador	1	Perforar y definir piezas geométricas con base en una medida específica	A	La máquina presenta vibraciones	1	Daños estructurales en la bancada	La máquina no está nivelada y genera riesgos hacia los operadores
					2	Eje de la máquina no alineado	Golpes y sobre esfuerzo en los rodamientos de la máquina
					3	Guaras se presentan flojas	La máquina presenta un ruido metálico al momento de encenderla
			B	Defectos de calidad en el pieza de trabajo	1	Sujetador de pieza fisurado	La pieza de trabajo puede salir volando y causar daños en el operario
					2	Barra tope desgastada	Paro de la máquina debido a pérdida de integridad física de la barra
					3	Espárrago Cedido	La herramienta de trabajo no presenta un tope y en consecuencia los defectos son extensos
					4	Riel guía descentrado	Cortes disimiles de la pieza de trabajo
			C	El proceso de perforación es intermitente o nulo	1	Tope fisurado o roto	La pieza de trabajo queda inestable
					2	Polea rota	La máquina no efectúa su trabajo con normalidad
3	Cableado quemado o roto	La máquina no tiene alimentación (energía)					

Realizado por: Villacis F., 2023

Hoja de información del Torno CNC

Máquina		Función	Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla	
Torno CNC	1	Mecanizar piezas de revolución mediante la aplicación de software CAD	A	Error de posicionamiento	1	La máquina no presenta avance ni movimiento	El desbaste de la pieza de mecanizar es inexistente
					2	Eje de torno obstruido	La máquina presenta ruidos extraños debido al golpeteo del eje y las chumaceras
					3	Sistema de centrado no actualizado	La tolerancia de la pieza es superior a la calidad requerida y no permite el centrado de la pieza
			B	Traqueteo en la máquina	1	La exentica presenta holgaduras	La rosca de la pieza es deforme
					2	Sujetador de pieza fisurado	La pieza no puede mecanizarse a la par de suprimir el sujetador
					3	Carcasa fisurada	La máquina presenta ruidos metálicos debido a la falta de componentes de sujeción
					4	Piezas inestables o pernos inexistentes	
			C	Las piezas de trabajo no son mecanizadas	1	Seguro roto	Paro intermitente de la máquina debido al escasez de control
					2	Contrapunto estancado	Disminución en la calidad del producto pues el carro no avanza
3	Carro del torno averiado	La producción se ve estancada					

Realizado por: Villacis F., 2023

Hoja de información del Torno Paralelo

Máquina		Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla		
Torno paralelo	1	Transformar un sólido en una pieza mecanizada de características particulares	A	La pieza no puede ser mecanizada	1	Motor quemado	La máquina se encuentra inutilizable			
					2	Guardas no alineadas	La máquina presenta ruidos			
					3	Husillo desbalanceado	Los ejes de la máquina presentan grietas			
			B	La pieza presenta defectos de calidad	1	Contrapunto ineficiente	La pieza presenta defectos y la tolerancia no permita obtener una pieza de calidad adecuada			
					2	Ejes desbalanceados	Los rodamientos de la máquina deben ser reemplazados anormalmente			
					3	Disminución en la geometría del eje	El eje presenta grietas o daño estructural			
			C	El proceso de corte es intermitente y entorpece la producción	1	Seguro roto	Paro de la máquina por motivo de falta de mantenimiento			
					2	Los ángulos de trabajo son ineficientes	La tolerancia de la pieza es errónea			
					3	Falta de alimentación en el sistema	Máquina fuera de servicio por falta de voltaje			

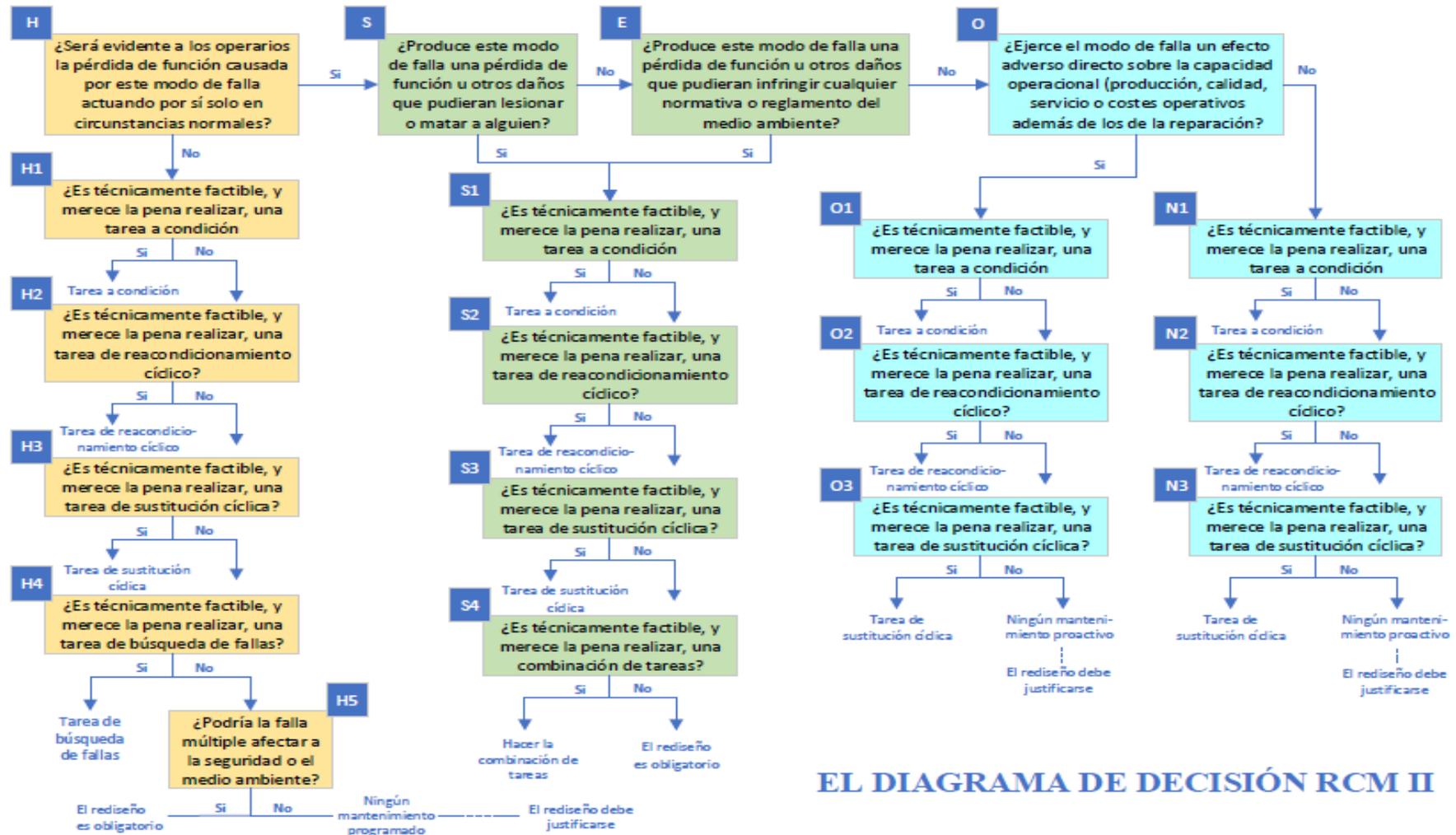
Realizado por: Villacis F., 2023.

Hoja de información de la Dobladora Hidráulica

Máquina		Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla	
Dobladora Hidráulica	1	Realizar moldeos y curvaturas	A	La máquina no puede efectuar dobleces	1	Contactador quemado o desgastado	La máquina presenta fallos en el arranque por sobrecorriente		
					2	Cubierta cilíndrica rota	Ruidos dentro de la máquina entre la cubierta y las piezas sueltas		
					3	Hand auto averiado o quemado	Paro de la máquina por sobrecarga de energía		
			B	Defectos de calidad en el pieza de trabajo	1	Radio de giro no efectivo	Riesgo de daño en el operador o fallas en el plegado		
					2	Manómetro averiado	La presión del sistema no es controlable y genera daños en la calidad de la pieza		
					3	Dado inmovilizado	La pieza del dado del doblez es insuficiente para generar un radio de giro deseado		
C	La máquina esta en modo de paro	1	Cilindro obstruido	La máquina no presenta operabilidad					
		2	Motor quemado						

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO F: DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II



EL DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II

ANEXO G: HOJAS DE DECISIÓN DE LA MAQUINARIA

Hoja de decisión del Taladro Fresador

 																
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO																
HOJA DE DECISIÓN: TALADRO FRESADOR																
HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema/Activo					Sistema N°			Facilitador: Villacis F		Fecha:	Hoja N°		
			Sub-Sistema/Componente					Subsistema N°			Auditor		Fecha:	De:		
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
			N1	N2	N3											
1	A	1	S	N	N	S	N						Inspección y aplicación de recubrimiento en la bancada	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	2	S	N	N	S	N						Inspección, desmontaje y verificación del eje	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	A	3	S	N	N	S	N						Reemplazo de guardas	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	1	S	N	N	S	N						Desmontaje y reemplazo del sujetador	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	B	2	S	N	N	S	N						Inspección visual de la barra tope	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	B	3	S	N	N	S	N						Inspección visual y reemplazo de espárrago	Bianual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	4	S	N	N	S	N						Inspección visual y centrado del riel guía	Semestral	Técnico de Mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	S	N						Reemplazo del tope de carrera	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	2	S	N	N	S	N						Inspección, montaje y reemplazo del polea	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	3	S	N	N	S	N						Inspección visual del cableado	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	

Realizado por: Villacis F., 2023

Hoja de decisión del Torno CNC

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 															
HOJA DE DECISIÓN: TORNO CNC															
HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema/Activo				Sistema N°			Facilitador: Villacis F			Fecha:	Hoja N°	
			Sub-Sistema/Componente				Subsistema N°			Auditor			Fecha:	De:	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3			
1	A	1	S	N	N	S	N						Inspección y verificación del avance de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	N						Inspección y verificación del eje	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	A	3	S	N	N	S	N						Actualizar el centrado de la máquina (Corregir el posicionamiento)	Mensual	Técnico de Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	S	N						Inspección, desmontaje y reemplazo de la excéntrica	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	N						Inspección visual y reemplazo del sujetador	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	B	3	S	N	N	S	N						Inspección visual de la carcasa	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	B	4	S	N	N	S	N						Inspección visual y colocado de elementos faltantes en la carcasa	Mensual	Técnico de Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N						Reemplazo del seguro de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	C	2	S	N	N	S	N						Inspección, montaje y verificación del contrapunto	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	C	3	S	N	N	S	N						Inspección visual y limpieza del carro	Mensual	Técnico de Mantenimiento

Realizado por: Villacis F., 2023

Hoja de decisión del Torno Paralelo

  																	
HOJA DE DECISIÓN: TORNO PARALELO																	
HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema/Activo				Sistema N°			Facilitador: Villacis F			Fecha:	Hoja N°			
			Sub-Sistema/Componente				Subsistema N°			Auditor			Fecha:	De:			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de					TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
							S1	S2	S3								
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3					
1	A	1	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y rebobinado del motor	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	2	S	N	N	S	N							Alineación de guardas	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	3	S	N	N	S	N							Desmontaje y verificación del equilibrio del husillo	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	1	S	N	N	S	N							Inspección, desmontaje y limpieza del contrapunto	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	2	S	N	N	S	N							Desmontaje y balanceo del eje	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	B	3	S	N	N	S	N							Inspección no destructiva del eje	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	S	N							Reemplazo del seguro de la máquina	Mensual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	2	S	N	N	S	N							Verificación del ángulo de trabajo	Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	C	3	S	N	N	S	N							Inspección y verificación de la fuente de alimentación del sistema	Anual	Técnico de Mantenimiento	

Realizado por: Villacis F., 2023

Hoja de decisión de la Dobladora Hidráulica

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 															
HOJA DE DECISIÓN: DOBLADORA HIDRÁULICA															
HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema/Activo				Sistema N°			Facilitador: Villacis F			Fecha:	Hoja N°	
			Sub-Sistema/Componente				Subsistema N°			Auditor			Fecha:	De:	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Acciones a falta de			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N						Inspección, desmontaje y reemplazo del contactor	Semestral	Técnico de Mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	N						Inspección visual de la cubierta cilíndrica	Anual	Técnico de Mantenimiento
1	A	3	S	N	N	S	N						Inspección, desmontaje y reemplazo del Hand auto	Semestral	Técnico de Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	S	N						Inspección y corrección del radio de giro	Semestral	Técnico de Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	N						Inspección visual y mantenimiento del manómetro	Semestral	Técnico de Mantenimiento
1	B	3	S	N	N	S	N						Reemplazo del dado de trabajo	Mensual	Técnico de Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N						Inspección visual y mantenimiento del cilindro	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
1	C	2	S	N	N	S	N						Inspección, desmontaje y rebobinado del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento

Realizado por: Villacis F., 2023

ANEXO H: GAMMAS DE MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA

Gamma de mantenimiento del Taladro Fresador

Código:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°:	Requerimientos Logísticos		
MA-AM-003	Villacis F.	4/8/2023	3	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
Descripción de Equipo		Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable		
 <p>Taladro Fresador.- Perforar y definir piezas geométricas con base en una medida especificada</p>	Inspección visual y aplicación de recubrimiento en la bancada	Semestral	Técnico de Mantenimiento	1.5	Anticorrosivo	Destornilladores, llave (10 mm), Brocha
	Inspección, desmontaje y limpieza del eje	Semestral	Técnico de Mantenimiento	1.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata
	Reemplazo de la broca	Bimensual	Técnico de Mantenimiento	0.1	Broca	Destornilladores, llave (14 mm), Llave de Girasol
	Reemplazo de guardas	Anual	Técnico de Mantenimiento	3	Guardas	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata
	Desmontaje y reemplazo del sujetador	Mensual	Técnico de Mantenimiento	2	Sujetador	Destornilladores, llave (10 mm)
	Inspección visual de la barra tope	Semestral	Técnico de Mantenimiento	2		Destornilladores, llave (10 mm)
	Inspección visual y reemplazo de espárrago	Mensual	Técnico de Mantenimiento	1	Cinta	Destornilladores, llave (14 mm)
	Inspección, desmontaje y reemplazo del espárrago	Anual	Técnico de Mantenimiento	2.5	Espárrago	Destornilladores, llave (10 mm), alicata
	Inspección visual y centrado del riel guía	Semestral	Técnico de Mantenimiento	1		Destornilladores, llave (10 mm), alicata
	Inspección y limpieza del mandril	Semanal	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe	
	Inspección, desmontaje y reemplazo del tope de carrera	Mensual	Técnico de Mantenimiento	1	Tope de carrera magnético	
	Reemplazo del tope de carrera	Anual	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), alicata
	Inspección, desmontaje y reemplazo de la polea	Anual	Técnico de Mantenimiento	2	Polea	Destornilladores, llave (10 mm), alicata
	Verificación del sistema de encendido	Mensual	Técnico de Mantenimiento	0.5		Destornilladores, llave (10 mm), Alicata
	Inspección visual del cableado	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	1	Sujetador	Destornilladores, llave (10 mm), Alicata

Gamma de mantenimiento Torno CNC

Código:	Facilitador: Villacis F.	Fecha:	4/8/2023	Hoja N°:	4	Requerimientos Logísticos		
MA-AT-004	Auditor:	Fecha:	5/8/2024	De:	6	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
 <p>Torno CNC.- Mecanizar piezas por arranque de viruta por medio del desarrollo de un movimiento rectilíneo alternativo de la herramienta de corte</p>	Descripción de Equipo	Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable				
	Inspección y verificación del avance de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento	0.2	Hoja de verificación			
	Inspección y verificación del eje	Anual	Técnico de Mantenimiento	1.5	Hoja de verificación			
	Actualizar el centrado de la máquina (Corregir el posicionamiento)	Mensual	Técnico de Mantenimiento	1	Hoja de verificación			
	Inspección, desmontaje y reemplazo de la excéntrica	Anual	Técnico de Mantenimiento	3	Excéntrica	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Limpieza y desmontaje del carro	Mensual	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe			
	Reemplazo de taladrina	30 Horas	Técnico de Mantenimiento	2	Taladrina	Destornilladores, llave (10 mm)		
	Inspección visual y reemplazo del sujetador	Anual	Técnico de Mantenimiento	2		Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Inspección, desmontaje y montaje del husillo	Anual	Técnico de Mantenimiento	2.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (14 mm)		
	Inspección visual de la carcasa	Semestral	Técnico de Mantenimiento	0.5	Hoja de verificación	Destornilladores, llave (11 mm), alicata		
	Inspección visual y colocado de elementos faltantes en la carcasa	Anual	Técnico de Mantenimiento	1	Pernos M6	Destornilladores, llave (10 mm), alicata		
	Inspección visual y limpieza de la torreta	Mensual	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe			
	Inspección, montaje y verificación del contrapunto	Semestral	Técnico de Mantenimiento	2	Hoja de verificación	Maquinado del tornillo		
	Inspección visual y limpieza de la torreta	Anual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), alicata		
Limpieza del motor	Anual	Técnico de Mantenimiento	2	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), alicata			
Limpieza general de la máquina	Diario	Técnico de Mantenimiento	0.5	Brocha, guaípe				

Gamma de mantenimiento Torno Paralelo

Código:	Facilitador: Villacis F.	Fecha:	4/8/2023	Hoja N°:	5	Requerimientos Logísticos		
MA-AT-005	Auditor:	Fecha:	5/8/2024	De:	6	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
 <p>Torno Paralelo.- Transformar un sólido en una pieza mecanizada de características particulares</p>	Descripción de Equipo	Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas	
	Inspección visual del cableado de la máquina	Semestral	Técnico de Mantenimiento	0.4	Hoja de verificación			
	Inspección, desmontaje y rebobinado del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento	0.5		Destornilladores, llave (10 mm), Brocha		
	Inspección visual de la carcasa	Semestral	Técnico de Mantenimiento	0.5	Hoja de verificación			
	Alineación de guardas	Anual	Técnico de Mantenimiento	2		Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Limpieza y desmontaje del carro	Mensual	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Desmontaje y verificación del equilibrio del husillo	Mensual	Técnico de Mantenimiento	2	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm)		
	Inspección visual, desmontaje, montaje y balanceo del eje	Anual	Técnico de Mantenimiento	3	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Inspección no destructiva del eje	Semestral	Técnico de Mantenimiento	3	Tintas penetrantes	Destornilladores, llave (11 mm), alicate, guípe, alcohol		
	Reemplazo del seguro de la máquina	Anual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Seguro	Destornilladores, llave (10 mm), alicate		
	Verificación del ángulo de trabajo	Mensual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Hoja de verificación	Destornilladores, llave (12 mm), alicate		
	Reemplazo del tornillo guía	Semestral	Técnico de Mantenimiento	6	Tornillo guía	Maquinado del tornillo		
	Inspección y verificación de la fuente de alimentación del sistema	Anual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Hoja de verificación	Destornilladores, llave (10 mm), alicate		
	Limpieza del motor	Anual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), alicate		
Limpieza general de la máquina	Diario	Técnico de Mantenimiento	0.5	Brocha, guaípe				

Gamma de mantenimiento Dobladora Hidráulica

Código:	Facilitador: Villacis F.	Fecha:	4/8/2023	Hoja N°:	6	Requerimientos Logísticos		
MA-AS-006	Auditor:	Fecha:	5/8/2024	De:	6	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas
 <p>Dobladora Hidráulica. - Realizar moldeos y curvaturas en tubos metálicos</p>	Descripción de Equipo	Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable	Tiempo de reparación (H)	Materiales	Herramientas	
	Inspección, desmontaje y reemplazo del contactor	Semestral	Técnico de Mantenimiento	0.4	Hoja de verificación, contactor	Destornilladores, llave (10 mm), Brocha, santiago, lubricante		
	Inspección visual de la cubierta cilíndrica	Anual	Técnico de Mantenimiento	1	Hoja de verificación			
	Desmontaje y mantenimiento de la bomba de lubricación	Anual	Técnico de Mantenimiento	3	Hoja de verificación, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), Brocha		
	Reemplazo del botón de paro	Bianual	Técnico de Mantenimiento	0.5	Botón de paro genérico	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Inspección, desmontaje y reemplazo del Hand auto	Anual	Técnico de Mantenimiento	2	Hand Auto	Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Inspección y corrección del radio de giro	Mensual	Técnico de Mantenimiento	3		Destornilladores, llave (10 mm)		
	Inspección visual y mantenimiento del manómetro	Semestral	Técnico de Mantenimiento	2		Destornilladores, llave (14 mm), Alicata		
	Reemplazo del dado de trabajo	Anual	Técnico de Mantenimiento	2	Dado	Destornilladores, llave (14 mm), pernos M6		
	Alienar la cureña	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	2		Destornilladores, llave (11 mm), alicata		
	Inspección visual y mantenimiento del cilindro	Trimestral	Técnico de Mantenimiento	0.5		Destornilladores, llave (10 mm), alicata, galga		
Inspección, desmontaje y rebobinado del motor	Bianual	Técnico de Mantenimiento	4	Mordaza	Destornilladores, llave (12 mm), alicata,			
Limpieza general de la máquina	Diario	Técnico de Mantenimiento	0.5	Brocha, guaípe	Destornilladores, llave (10 mm), alicata			

ANEXO I: VISITA TÉCNICA A LA EMPRESA



ANEXO J: ENTREVISTA Y ENCUESTA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Cuestionario estructurado para aplicar al Gerente General de la Empresa “PROVEEDORA INDUSTRIAL” en la ciudad de Riobamba en el año 2023.

Esta entrevista tiene el objetivo de recopilar información relevante, sobre el tema “**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PROVEEDORA INDUSTRIAL BAJO LA NORMA SAE JA1011**”, que ayudará en el análisis de los datos.

PREGUNTAS:

- 1.- ¿Conoce usted sobre los planes de mantenimiento industrial de la maquinaria que posee dentro de la empresa?”
- 2.- ¿Aplica los planes de mantenimiento industrial en las maquinarias que posee?
- 3.- ¿Conoce usted sobre los tipos de mantenimiento industriales? Si la respuesta es afirmativa, describa los que conoce.
- 4.- ¿Conoce usted sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad?
- 5.- ¿Cree usted que tiene beneficios en la empresa el aplicar la RCM para el mantenimiento de la maquinaria?



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Cuestionario estructurado para aplicar a los trabajadores de la **Empresa**
“PROVEEDORA INDUSTRIAL” en la ciudad de Riobamba en el año
2023.

Esta entrevista tiene el objetivo de recopilar información relevante, sobre el tema **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PROVEEDORA INDUSTRIAL BAJO LA NORMA SAE JA1011”**, que ayudará en el análisis de los datos.

PREGUNTAS:

1.- ¿Conoce usted sobre los planes de mantenimiento industrial de la maquinaria que posee dentro de la empresa”

SI _____ **NO** _____

2.- ¿Tiene conocimiento sobre el manejo de los planes de mantenimiento industrial en las maquinarias que posee?

SI _____ **NO** _____

3.- ¿Conoce usted sobre los tipos de mantenimiento industriales? Si la respuesta es afirmativa, describa los que conoce.

SI _____ **NO** _____

4.- ¿Conoce usted sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad?

SI _____ **NO** _____

5.- ¿Cree usted que tiene beneficios en la empresa el aplicar la RCM para el mantenimiento de la maquinaria?

SI _____ **NO** _____

ANEXO K: ENTREVISTA AL GERENTE Y ENCUESTA A LOS TRABAJADORES



ANEXO L: TABULACIÓN DE DATOS

