

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**“PROPUESTA DE INTEGRACIÓN A LA INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO PARA TALLER DE MECÁNICA INDUSTRIAL DEL
COLEGIO EIV”**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de INGENIERO DE
MANTENIMIENTO

Alumno:
Ian Pablo Samuel Ibaceta Fábrega

Profesor Guía:
Mg. Ricardo Ciudad Cartagena

2022

RESUMEN

La Escuela Industrial de Valparaíso es un prestigioso establecimiento que posee años de servicio a la comunidad formando técnicos de nivel medio. Una de las tantas especialidades que tiene es Mecánica Industrial, lugar que como tesista dedico mi tiempo a la docencia en el área metal mecánica. Uno de los factores que motivaron a realizar esta memoria, fue el hecho de que en el taller no existe el concepto propiamente tal de lo que es el mantenimiento. Y como docente quiero dar a conocer la escuela y especialmente a mis alumnos, que el mantenimiento como concepto alberga una gran cantidad de materias y filosofías de mejoras que pueden llegar a generar un gran cambio cultural y organizacional si se gestiona de la manera correcta.

El propósito de esta memoria es lograr confeccionar una propuesta para gestionar los activos utilizando como concepto principal la Ingeniería de Mantenimiento. Esto conllevará un avance en la gestión de activos, analizando factores como tipos de problemas que se generan en el taller, o el hecho de que existen vacíos que no se cubren con ningún tipo de acción. También agregar que se analizaran costos para la implementación de esta propuesta.

Se aplicaron tres metodologías, en el primer capítulo se aprecia el uso de la matriz cualitativa de mantenimiento, cual su función es reconocer el estado de la gerencia en cuanto a las acciones que se toman respecto al mantenimiento. En el capítulo dos se implementa el uso del FMCA para poder definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, enfocadas en el activo más crítico del taller. Para el capítulo tres se evaluaron los costos pensando en las actividades de mantenimiento y renovación de equipos.

Se crearon herramientas y plantearon propuestas sobre la tesis como por ejemplo: Calendario de Mantenimiento, Análisis de criticidad, FMCA, Creación de base de datos, Ordenes de trabajo, Implementación de dos nuevos tornos en el taller.

En el primer capítulo se aprecia el uso de una matriz de mantenimiento para la obtención de datos, lo cual fue provechoso para implementar políticas y estrategias de

mantenimiento. Para el capítulo dos fue primordial el uso de FMCA para representar de un modo más claro que es lo que estaba sucediendo con el activo crítico, esto permitió reconocer modos de fallas y como poder enfrentarlas a futuro. Gracias al inciso tres se lograron aterrizar las ideas de cuanto es el valor aproximado de lo que puede costar implementar la propuesta en general, esto incluyendo el valor de recambio de dos maquinarias del taller.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVO ESPECIFICOS

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1.	ESCUELA SUPERIOR INDUSTRIAL DE VALPARAÍSO	1
1.1.	MISIÓN Y VISIÓN	1
1.1.1.	Misión	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.	Visión	1
1.2.	ESTADO DEL TALLER	2
1.2.1	Sector tornos	3
1.2.2.	Sector fresas	4
1.2.3.	Sector dimensionado de piezas	5
1.3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO A UTILIZAR	6
1.4.	MATRIZ CUALITATIVA DE MANTENIMIENTO	6
1.5.	JERARQUIZACIÓN DE LOS EQUIPOS	8
1.5.1	Criticidad de activos	8
1.5.2.	MATRIZ DE CRITICIDAD CUALITATIVA DE RIESGO: MCCR	9
1.5.2.1	Datos obtenidos	11

CAPÍTULO 2: VIABILIDAD ECÓNOMICA

2.4.1	PERFIL DE MATENIMIENTO DEL TALLER	13
2.1.	CONTEXTO INTERNO DEL TALLER	13

2.1.1. Objetivos estratégicos del taller	14
2.2. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO	15
2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO	16
2.3.1. Mantenciones preventivas	16
2.3.2. Mantenciones correctivas	17
2.3.3. Mantenciones restaurativas (acción reactiva programada)	17
2.4. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	18
2.4.1 Tipos de mantenimientos aplicados al taller	18
2.4.1.1 Mantenimiento preventivo	18
2.4.1.2. Mantenimiento restaurativo	20
2.5 DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO	21
2.6 SISTEMA DE TRABAJOS	22
2.7.FMCA	22
2.8.INDICADORES (KPI'S)	26
2.8.1. Indicadores a utilizar	28
2.8.2. Disponibilidad de los equipos (ai)	28
2.8.3. Tiempos medios entre fallas (mtbf)	29
2.8.4. Tiempos medios entre reparaciones (mttr)	29
2.8.5. Interpretación de datos	30

CAPÍTULO 3: VIABILIDAD ECÓNOMICA

3.1.CONTEXTO ECONÓMICO DEL TALLER	32
3.2 TIPOS DE GASTOS	32
3.2.1. GASTOS DE MANO DE OBRA	33
3.2.2. GASTOS DE MATERIALES	33
3.2.3. GASTOS DE TERCERIZACIÓN	34
3.2.4. GASTOS FINANCIEROS	34
3.2.5. GASTOS FIJOS	34
3.2.6 GASTOS VARIABLES	35

3.3. GASTO INTEGRAL DE MANTENIMIENTO _____ 35

3.4. COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO _____ 36

3.5. COSTOS DE RECAMBIO DE MÁQUINARIAS _____ 38

3.6. MOTIVOS DE IMPLEMENTACIÓN DE COSTOS _____ 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.: Fotografía de Sector de Torneado del Taller de Mecánica Industrial

Figura 1-2. Fotografía de Sector de Fresado del Taller de Mecánica Industrial

Figura 1-3. Fotografía de Sector de Dimensionado del Taller de Mecánica Industrial

Figura 1-4. Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).

Figura 1-5. Factores con las ponderaciones del MCCR

Figura 1-6. Matriz de criticidad para equipos.

Figura 2-1. Comportamiento de las funciones $f(t)$, $C(t)$ y $\lambda(t)$,

Figura 2-2. Ciclo de vida de los indicadores y cuadros de mando

Figura 3-1: Variación del gasto integral de mantenimientos

Figura 3-2: Tornos convencionales 1&2

Figura 3-3: Periodo de vida útil consistente, curva de la bañera

Figura 3-4: Torno mecánico paralelo 1 metro fi-1340azj

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.: Recuadro de activos de sectores del taller EIV

Tabla 1-2. Matriz cualitativa de mantenimiento (MCM)

Tabla 1-3. Resultado matriz cualitativa de mantenimiento (MCM)

Tabla 2-1. Tabla de Severidad

Tabla 2-2. Tabla de Ocurrencia

Tabla 2-3. Tabla de Detección

Tabla 2-4. Tabla de rangos de Criticidad

Tabla 3-1. Costos de Mantenimiento

Tabla 3-2. Cotización de tornos paralelos

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

MCM: Matriz cualitativa de mantenimiento

MCCR: Matriz de criticidad por riesgos

FMCA: Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad

KPI'S: Indicador clave de desempeño

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Tiempo medios entre reparación

Ai: Disponibilidad de los equipos

MGM: Modelo del proceso de gestión del mantenimiento.

TIR: Tasa interna de retorno.

PAYBACK: Plazo de recuperación.

INTRODUCCIÓN

La Escuela Industrial Superior de Valparaíso es un establecimiento donde se imparte el conocimiento de carreras técnicas de nivel medio. Internamente en la escuela se encuentran un total de 6 especialidades y una de ellas es la especialidad de mecánica industrial, la cual lleva desempeñándose alrededor de 72 años, considerándose una de las especialidades con mayor cantidad de maquinarias y tecnologías. El taller se divide en cuatro sectores principales que son el área de tornos convencionales, el sector de fresado, las máquinas de control numérico, y por último el lugar de rectificado de piezas y partes.

La especialidad de mecánica industrial enseña a más de 140 alumnos a lo largo del año, esto implica que el taller es un lugar de considerable demanda en cuanto al uso de maquinarias. Esto a su vez provoca que se manifiesten fallas durante el uso de los tornos, fresas, sierras de banda de los sectores de mecanizado, en base a esto los profesores y el alumnado desde siempre han reaccionado de manera correctiva en cuanto a las fallas que se presentan durante todo estos años, esto es debido a que en los sectores de manufactura no existe la idea del Mantenimiento propiamente tal. Las fallas del taller en ocasiones

pueden ser de muy baja magnitud y pueden ser reparables enseguida, pero otro tipo de máquinas que son de gran importancia en la especialidad de mecánica industrial generan atascos del proceso, conllevando a que se produzcan cuellos de botellas en ciertas partes de los sectores de mecanizados de aceros.

Es por esto que el objetivo en general es plantear una propuesta de procesos de mantenimientos preventivos y analizar en base a costos la factibilidad de implementar alguna filosofía de mantenimiento, esto con el fin de llegar a obtener con el tiempo mejoras en cuanto a las frecuencias de fallas y los tiempos que se dedican a reparar las fallas que se generan y así de este modo obtener una base de información para generar indicadores sobre mantenimientos tales como:

- Tiempos medios entre fallas
- Tiempos medios de reparación
- Confiabilidad
- Frecuencia de fallas

Con los indicadores obtenidos da la certeza de que hacer en cuanto a la maquinaria que se tiene en el taller, ya sea la opción de plantear de comprar nuevos o equipos o programar mantenciones y con esto poder satisfacer la demanda de los estudiantes que utilizan el taller diariamente.

Una de las aristas principales es saber en qué situación se encuentra el taller de mecánica industrial es por aquello que se implementara una auditoria enfocada en reconocer el estado del taller, para poder comenzar a trabajar en los puntos más descendidos y generar la propuesta de mantenimiento. La matriz cualitativa de mantenimiento es un tipo de auditoria que su finalidad es reconocer aspectos del mantenimiento, mediante un recuadro que se dividen en dos ejes principales, en las columnas se encuentran las etapas y en las filas se encuentran los criterios.

OBJETIVO GENERAL

Confeccionar una propuesta para la gestión de activos del taller de mecánica industrial, a través del concepto de la ingeniería de mantenimiento, con la finalidad de extender la vida útil de los equipos y proporcionar a los estudiantes maquinarias con índices de confiabilidad y disponibilidad que sean óptimos para sus trabajos prácticos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Aplicar una auditoría para la obtención de la situación del taller de mecánica industrial utilizando una matriz semi-cualitativa de mantenimiento.
2. Formular una propuesta de implementación de mantenimiento para la extensión de la vida útil de los activos utilizando metodologías de análisis de modos de fallos, efectos y su criticidad.
3. Formular una propuesta económica para la viabilidad del proyecto mediante análisis financiero de las actividades de mantenimiento y de renovación de equipos.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1. ESCUELA SUPERIOR INDUSTRIAL DE VALPARAÍSO

Desde 1980 la Escuela Industrial Superior de Valparaíso es administrada por una corporación sin fines de lucro en virtud del decreto 3.166 de 1980 que creo la Administración delegada de establecimiento pertenecientes al ministerio de educación. En 1992 se le confió la administración a la corporación educacional instituto del mar, quienes hasta el día de hoy mantienen vigente un convenio de administración con el mineduc.

La escuela cuenta con cursos desde primero a cuarto medio con una matrícula anual de 950 alumnos, donde se imparte desde a tercero a cuarto medio, las especialidades que escogen los estudiantes, siendo un total de seis especialidades, de las cuales son:

- Mecánica Industrial
- Mecánica Automotriz
- Estructuras metálicas
- Electricidad
- Electrónica
- Construcción

Durante los dos años de especialidad se les imparte módulos técnicos para que después de finalizar su etapa educativa puedan rendir una práctica profesional y obtener el título de nivel medio de cuya especialidad. (Datos extraídos de www.eiv.cl)

1.1. MISIÓN

Participar significativamente en la Formación Integral de los alumnos, entregando una sólida Formación Valórica, fortaleciendo la educación y desarrollando Competencias Profesionales concordantes con las exigencias del Sector Industrial.

1.2. VISIÓN

Queremos ser una Escuela que se destaca por la calidad humana y profesional de sus integrantes. Una Escuela Abierta, Tecnológica, Pluralista y Vanguardista, que imparte una educación de calidad, que desarrolla las habilidades y actitudes necesarias para

una convivencia armónica entre las personas, su cultura y el medio ambiente natural que les rodea.

1.2. ESTADO DEL TALLER

La especialidad de mecánica industrial cuenta con un esquema de trabajo que se puede visualizar en la tabla 1. En la cual muestra la distribución completa del taller de las maquinas-herramientas, clasificándose en 3 sectores principales, de los cuales tenemos el área de tornos, fresas, y taladradoras. El taller cuenta con un pañol el cual distribuye las herramientas según los trabajos que realizan los alumnos. También está equipado con casetas de soldadura y mesones con tornillos de banco, El taller concentra una totalidad de 80 alumnos al día, y se distribuye en las áreas según el curso que corresponda. Se considerara para esta propuesta el sector de tornos, fresas y dimensionado de material.

ACTIVOS DEL TALLER	
MARCA SIERRA	CANTIDAD
SIERRA VERTICAL MARVEL	1
SPIDO	1
TOTAL	2

ACTIVOS DEL TALLER	
MARCA FRESAS	CANTIDAD
VENIER.FVU	2
SCHAUBLIN	2
DARJE	2
UNIVERSAL SWIVEL	3
TOTAL	9

ACTIVOS DEL TALLER	
MARCA TORNOS	CANTIDAD
SKAND	2
IMOR	1
MAGNUN -CUT	6
METALLARBEITERSCHULE WINTERTHUR	7
TOPTECH	2
TOTAL	18

Tabla 1-1.: Recuadro de activos de sectores del taller EIV

Fuente: Taller de mecánica de Escuela Industrial de Valparaíso

1.2.1 Sector tornos

Uno de los principales módulos de la especialidad en cuarto medio es Torneado de piezas y conjuntos mecánicos, la finalidad de este módulo es que los estudiantes puedan conocer la teoría y aplicar lo aprendido en actividades prácticas mediante la creación de piezas de precisión utilizando tornos convencionales.

Los tornos se utilizan alrededor de 1800 horas anuales y los mantenimientos que se les aplican son de total carácter correctivo, ya sea la falta de torque de los pernos de apriete de algún carro, también es frecuente que el eje del carro transversal se exceda del límite de carrera, o cambio de poleas del motor .Todos los arreglos que se generan son realizados por los alumnos guiados de los profesores. Resumiendo el estado de los tornos en general se encuentran funcionando de los 18 tornos, 15 se encuentran en condiciones de funcionamiento, pero fallan constantemente por factores que podrían ser evitados. No se posee ningún tipo de mantenimiento o programación de arreglos preventivos durante el año, lo cual se quiere revertir con la propuesta de implementación de ingeniería de mantenimiento.



Figura 1-1.: Fotografía de Sector de Torneado del Taller de Mecánica Industrial

Fuente: Escuela Industrial de Valparaíso

1.2.2. Sector fresas

La especialidad cuenta con gran maquinaria en el taller dentro de este año en el sector de Fresas se incorporaron tres maquinarias nuevas, gracias a un concurso entregado por el estado, de este modo se pudo dar de baja a 3 fresas del año 1980, esto es provechoso para el alumnado en cuanto a conocimientos y prácticas adquiridas, como se muestra en la figura 1-2. se aprecia la distribución de las fresas, cabe mencionar que no cuentan con algún sistema de mantenimiento preventivo, incluyendo las nuevas maquinarias, es por esto que en la propuesta se incluirá en particular un seguimiento enfocado a las nuevas maquinarias para tener una buena disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

La funcionalidad de estos equipos en cuanto al uso que le otorgan los estudiantes se podría indicar que existen momentos del año en las cuales las maquinas-herramientas presentan fallas, Además en ocasiones por el desconocimiento o por falta de atención de parte de los estudiantes, provoquen averías menores en las fresas, sobre todo en las fresas que tienen más de 40 años funcionando en el taller, un ejemplo de aquello es el desgaste de los bujes que soporta el eje donde se mecanizan engranajes. Tomando esto como información importante se propondrá la utilización de Toolcards para reparaciones menores y mantenimientos preventivos.



Figura 1-2. Fotografía de Sector de Fresado del Taller de Mecánica Industrial

Fuente: Escuela Industrial de Valparaíso

1.2.3. Sector dimensionado de piezas

Una de las áreas importantes del taller es el sector de dimensionado de aceros y plásticos, donde se corta todo el material bruto que utilizan los alumnos para las actividades prácticas, en este sector en particular se generan fallas todos los días que se utiliza. Se calcula que la cortadora principal de marca MARVEL que se puede apreciar en la figura 1-3. tiene una frecuencia de falla de 3 veces por día, esta máquina en particular presenta fallas por su excesivo uso y poca mantención que se realiza al año. Al igual que las otras maquinarias se realiza mantención correctiva y no dispone de mantenciones preventivas. Sus principales fallas son producto de mal ajuste de correas en las poleas, mal uso de los estudiantes y excesiva carga de la hoja en el material que se encuentran cortando provocando desgaste prematuro de los dientes de la sierra. Otro síntoma que presenta constantemente es que la hoja se salga de los soportes provocando atascamiento de la hoja en el material, estas reparaciones promedian un tiempo estimado de 12 minutos desde el momento que comenzó la falla.

Esta sierra vertical se considera un activo crítico en el taller según lo que indican los profesores de la especialidad, es por ello que se realizara un análisis profundo de esta maquinaria para poder generar propuestas que ayuden en el sistema productivo del taller, esto es importante de considerar ya que se genera cuello de botellas en este sector en particular del taller.



Figura 1-3. Sector de Dimensionado del Taller de Mecánica Industrial

Fuente: Escuela Industrial de Valparaíso

1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO A UTILIZAR

La elección de la metodología a utilizar depende del contexto operacional de los equipos que puedan encontrarse envuelto en algún sector de trabajo, al ser un taller con varios años de trabajo y sin historiales o planes de mantenimiento existente, se empleara el análisis de modo efecto y criticidad de las fallas(FMCA).

En el capítulo dos se profundizara sobre la metodología escogida y la explicación de su funcionamiento y de cuales fueron los resultados obtenidos en base a esta filosofía de mantenimiento.

En base a lo mencionado en el párrafo anterior se va analizar la factibilidad de poder implementar la propuesta de ingeniería de mantención, definiendo responsables, tareas a realizar tipos de indicadores a registrar y cualquier información que sea útil para poder ir mejorando los procesos de mantención de los equipos.

1.4. MATRIZ CUALITATIVA DE MANTENIMIENTO

En (2012, Parra et al.) Define que una auditoria cualitativa de mantenimiento se aplica a nivel gerencial basada en una lluvia de ideas consiste en un matriz 5 x 7 conformada por los siguientes factores (p 18-19)

Eje Horizontal Corresponde a 5 etapas de mejora de mantenimiento Incertidumbre conciencia, entendimiento, madurez y excelencia, cuyo orden va de menor a mayor Eje Vertical Corresponde a 7 factores de mejora de gestión de mantenimiento como se puede apreciar (aptitud gerencial, status del área de mantenimiento razón entre costos totales de mantenimiento y costos totales de producción, resolución de problemas en mantenimiento, evaluación y capacitación del personal de mantenimiento, manejo de la información y toma de decisiones, posición de la organización en relación al mantenimiento)

El proceso de cuantificación de las áreas de mantenimiento a diagnosticarse realiza tomando los resultados de cada una de las evaluaciones realizadas por cada participante y promediándolos. Cada participante evaluará cada uno de los 7 factores propuestos, las puntuaciones irán desde el 1 hasta el 5(siendo 1: Incertidumbre, 2: Conciencia, 3: Entendimiento, 4: Madurez y 5: Excelencia). Las preguntas desarrolladas para cada una de las 7 áreas a ser evaluadas se presentan en la Tabla 1-2.

Etapas Criterios	Etapas Etapa 1 Incertidumbre	Etapas Etapa 2 Conciencia	Etapas Etapa 3 Entendimiento	Etapas Etapa 4 Madurez	Etapas Etapa 5 Excelencia
Aptitud Gerencial	No existe el concepto de prevención - solo se corrige cuando sea necesario	Reconoce que el mantenimiento podría mejorar pero esta reuente a aceptar	Comienza a aprender sobre el impacto del mantenimiento en la rentabilidad - se interes y promueve algunos cambios	Genera propuestas de mejora hacia el mantenimiento, reconoce que el apoyo de la gerencia es de vital importancia para consolidar las mejoras	Incluye al mantenimiento como parte integral de los objetivos del negocio.
Status de la organización Mantenimiento	REACTIVA: trabajar sobre los equipos cuando estos fallan de forma imprevista - reparar cuando se rompa	CONCIENTE: se mantiene corrigiendo fallos pero tiene ahora repuestos y realiza algunos mantenimientos mayores	PREVENTIVA: aplica rutinas preventivas por tiempo de inspección, lubricación, ajustes y servicios menores con el fin de aumentar el TPO de algunos equipos	PREDICTIVA: aplica técnicas de análisis de vibración, termografía, ultrasonido, etc., para monitorear la condición de algunos equipos. Realiza análisis de fallos repetitivos	PROACTIVA: define y prioriza las actividades de mant. (preventivo y predictivo) en función de las consecuencias de los fallos y desarrolla modelos de decisión basados en riesgo
Costes totales Mantenimiento/ costes totales de producción	30+%	20-30%	10-20%	5-10%	Less than 5%
Formas de resolver los problemas	Problemas se resuelven según como vayan apareciendo	Se reparan los fallos en tiempos cortos. Se inician algunos análisis de fallos (solo mantenimiento)	Problemas analizn y se resuelven con información proveniente de mantenimiento y operaciones	Problemas se analizan a partir del esfuerzo de equipos de trabajo (operaciones, mantenimiento, ingeniería, logística, proyectos, fabricante, etc)	Problemas se analizan por equipos de trabajo, se evalúan los riesgos y se previenen los problemas que afectan la rentabilidad del negocio
Calificación y adiestramiento del personal de mantenimiento	Trabajos de baja calidad son aceptados, entrenamiento se considera innecesario, ausencia de procedimientos, herramientas en mal estado	Se reconoce la falta de adiestramiento, se identifican las herramientas obsoletas, se identifican algunos procedimientos de trabajo	Se entiende la importancia de la calidad en el mant., se definen los roles y procedimientos de trabajo, se desarrollan algunas habilidades críticas, anualmente se considera un presupuesto para adiestramiento	Se definen procedimientos de certificación de calidad en mantenimiento, se desarrolla personal de mant. de multihabilidades, el entrenamiento se define por rendimiento y desempeño	Altos estándares de calidad en la ejecución del mant., el adiestramiento se visualiza como una inversión y se planifica en función del impacto económico de cada área, muy alta flexibilidad para la ejecución del mant.
Manejo de la información y toma de decisiones	No se maneja ningún registro de mantenimiento - la poca data que se recopila es de muy baja calidad	Se utiliza un sistema manual o computarizado muy sencillo - no hay apoyo del sistema para planificar actividades	Se utiliza un sistema que permite desarrollar órdenes de trabajo de mant., se hace seguimiento a los costes totales, (solo tiene acceso mantenimiento)	Se utiliza un sistema computarizado de control del mantenimiento que involucra a mantenimiento y operaciones, se registran datos de costes y confiabilidad de forma segura	Se tiene un sistema de gestión del mantenimiento integrado con todas las áreas del negocio (finanzas, logística, materiales, operación, procesos, etc.), incluye módulo de análisis de Riesgo
Posición de la organización en relación al mantenimiento	Nosotros no tenemos ni idea por que los equipos fallan. Continuidad operacional es muy baja pero para nosotros el mantenimiento no es un factor importante	Nuestros competidores tienen menos problemas que nosotros, su disponibilidad es más alta y no generan tanto impacto en la producción	Un nuevo enfoque de nuestro proceso de gestión del mantenimiento nos puede ayudar a identificar los problemas y a incrementar la disponibilidad de nuestros activos	"Todo el mundo está comprometido a que la calidad se convierta en algo rutinario dentro del mantenimiento, que pase a ser parte de nuestra filosofía operacional. Nosotros no podremos hacer productos de calidad a partir de actividades de mantenimiento mal ejecutadas"	"Nosotros no esperamos paros imprevistos y sorpresas, cuando ello ocurre, será sólo en equipos que previamente mantenimiento ha definido como equipos de bajo riesgo (es más barato esperar que ocurra el fallo que hacer alguna actividad de mantenimiento preventivo"

Tabla 1-2. Matriz cualitativa de mantenimiento (MCM)

Fuente: Parra. C & Crespo, A Apunte Técnicas de Auditoria aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad

En la auditoria se implementó un cuestionario adjuntado en los anexos que va dirigido a los profesores encargados de los talleres de distintas especialidades, los docentes se conforman por un grupo de 9 profesores de los cuales uno de ellos es quien redacta la tesis. Todos los datos obtenidos se interpretarán de tal modo de generar nuevas propuestas que se enfoquen en trabajar los aspectos más descendidos de los equipos de trabajo de cada taller.

Los resultados indican lo siguiente:

- Las mantenciones se realizan solo cuando falla un equipo.
- Los problemas se soluciona de manera que van apareciendo.
- La gerencia funciona de manera correctiva.
- No se posee mucha información de los costos.
- El personal reconoce que existe falta de capacitación.
- En cuanto a software de planificación de actividades no existen datos de aquello.
- Se reconoce que un nuevo enfoque de gestión del mantenimiento puede ayudar a identificar problemas.

1.5. JERARQUIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos se pueden jerarquizar según la funcionalidad que ocupa en los procesos productivos, para poder determinar una jerarquización existen métodos cualitativos y cuantitativos en los cuales consideran factores como: frecuencia de fallas, el medio ambiente, costos operacionales, costos de mantenimiento, producción y la seguridad de los trabajadores. Para este caso en particular se utilizar un modelo de criticidad de análisis (cualitativo-cuantitativo). Es importante utilizar modelos ya existentes para ejecutar todas las fases necesarias y cumplir con el objetivo general, como se puede apreciar en la figura 1-4 el modelo de proceso de gestión del mantenimiento, consta de 8 fases las cuales apuntan a una manera de generar objetivos, jerarquizar equipos, evaluar entre otros los procesos del mantenimiento.

1.5.1 Criticidad de activos

Es un modelo de manejo del riesgo de forma única. Se le reconoce a los activos que poseen cierta importancia en los procesos que están envuelto y que representan al mismo modo una desventaja si es que en algún momento no se cuenta con ese activo de manera funcional.

Según (Parra et al 2021) las técnicas de jerarquización cualitativas basadas en el análisis de riesgo, son herramientas que se pueden utilizar para fijar la criticidad de los activos industriales del negocio. Estas metodologías permiten evaluar y conocer el nivel de importancia de los activos industriales considerado dos factores: frecuencia y consecuencias de los fallos y ayudan a los involucrados en los procesos de toma de decisiones a orientar de forma efectiva los recursos: humanos, económicos y tecnológicos en las áreas de mantenimiento, operaciones, logística, calidad, seguridad, ambiente, etc. En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad por riesgo (CTR), ayuda a determinar la importancia de los activos en función de las consecuencias que provocan los eventos de fallos en el contexto operacional en el cual se desempeñan.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento genérico en el mantenimiento y que sirva de ayuda en la determinación de la jerarquía de plantas, sistemas, equipos, componentes, etc., de un proceso de

producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

1.5.2. MATRIZ DE CRITICIDAD CUALITATIVA DE RIESGO: MCCR

El modelo de criticidad cualitativa de riesgo (MCCR), según (Parra et al 2021) es un proceso de análisis semicuantitativo, que comprende el concepto del riesgo, entendiéndose como el producto entre frecuencia de fallas por la severidad del equipo. Siendo la formula la siguiente:

$$CTR = FF \times C$$

Ecuación 1 Criticidad total por riesgo (CTR)

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de fallas

C: Consecuencia de los eventos de fallos

Cabe mencionar que el factor C de las consecuencias de fallos se calcula de la siguiente ecuación:

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

Ecuación 2 Ecuación de la consecuencia (C)

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción

FO: Factor de flexibilidad operacional

CM: Factor de costes de mantenimiento

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

Las ponderaciones de los factores fueron establecidas según lo que indica el autor, las podemos encontrar a continuación figura1-5.

FRECUCENCIA DE FALLAS	
Mayor a 35 fallas/año	4
Entre 20 y 35 fallas/año	3
Entre 10 y 20 fallas/año	2
Menos de 10 fallas/año	1

COSTO DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a \$500.000	3
Entre \$300.001 y \$500.000	2
Menor o igual a \$300.000	1

IMPACTO OPERACIONAL	
Parada inmediata de toda producción	10
Disminuye la capacidad en un 50%	6
Disminuye la capacidad en un 10 %	3
No genera ningún efecto sobre la operación y producción	1

IMPACTO SHA	
Alto Impacto en la seguridad humana/ ambiente	7
Afecta las instalaciones causando severos daños	5
Provoca daños menores (accidentes e incidentes). Impacto ambiental bajo	3
Provoca molestias mínimas en las instalaciones y ambiente	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
La reparación dura más de 12 horas	4
La reparación dura entre 6 a 10 horas	3
La reparación dura hasta 2 horas	1

Figura 1-5. Factores con las ponderaciones del MCCR

Fuente: Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo

Las ponderaciones son establecidas según lo que indica la norma, la matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- ▪Área de sistemas No Críticos (NC)
- ▪Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- ▪Área de sistemas Críticos (C)

Luego de conocer esto y habiendo obtenido el resultado de la ecuación se ubica el resultado en la matriz figura 1-6. para determinar en qué área se encuentra el equipo bajo estudio.

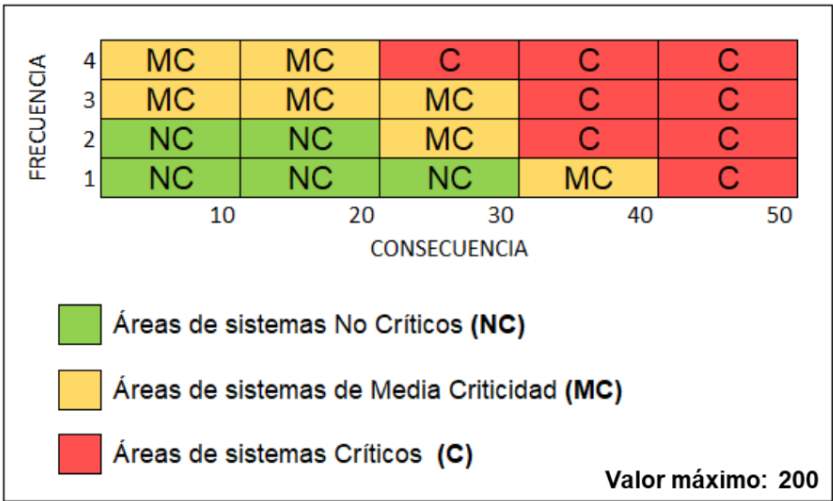


Figura 1-6. Matriz de criticidad para equipos.

Fuente: Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo

1.5.2.1 Datos obtenidos

Los datos ingresados al Excel con la información de los activos y sus resultados de criticidad se encuentran en los anexos, en el caso de la frecuencia de fallas es un aproximado de 0 a 10 fallas por año indicado por los tres docentes de la especialidad que llevan alrededor de 15 años trabajando en el sector de mecánica industrial. Si bien esto puede hacer variar los resultados, se implementó este modo al no existir una data histórica de ningún tipo de dato, es por aquello que dentro de las propuestas del sector ingenieril del mantenimiento es poder comenzar a registrar datos desde este año en adelante con el uso de planillas de Excel que serán traspasada a los encargados de ratificar toda la información respecto a tiempos de fallas, tiempos de reparaciones, costos de mantenimientos, ordenes de trabajos, etc.

Los datos entregados por el cálculo de la criticidad de equipos, indican como se puede apreciar en los anexos que en el taller existe 1 equipo crítico que vendría siendo la sierra vertical marca MARVEL y un activo de mediana criticidad que es el torno 19 del taller. En base a estos resultados se dará inicio a gestionar lo necesario para crear la propuesta de mantenimiento en el capítulo dos.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

PERFIL DE MANTENIMIENTO DEL TALLER

En este instante el taller de mecánica industrial no tiene planes de mantenimiento de las máquinas, es por aquello que en el instante en el cual se produce una falla son los mismos profesores los que realizan las reparaciones, por el momento lo único que se realiza a nivel de mantención son las lubricaciones de los equipos. Y las limpiezas son llevadas a cabo 2 a 3 veces al año. Cuando se genera un fallo en un equipo dependiendo de su magnitud, se realiza lo siguiente;

1. Lo solucionan los mismos profesores
2. Se solicita ayuda en el caso de ser un fallo eléctrico
3. Se solicita ayuda a personas externas, cuando el problema es mayor.

Esto quiere decir que los mismos profesores son prácticamente los encargados de solucionar cualquier evento que pueda suceder. Por lo cual no existen datos históricos o algún documento que acredite cantidades de reparaciones o frecuencias de fallas de los equipos. Uno de los focos importantes de esta propuesta es poder recopilar información de las mantenciones de los equipos. Ya que con esta información se puede generar indicadores, con la finalidad de tomar decisiones enfocadas a aumentar los tiempos de funcionamiento de los activos del taller.

Una parte importante del taller es el pañol el cual almacena todas las herramientas e insumos necesarios para llevar a cabo las actividades. Se propondrá tener una mejor gestión de inventario en el capítulo tres, enfocándose en las políticas de mantenimientos y del cumplimiento de las mantenciones programadas.

2.1. CONTEXTO INTERNO DEL TALLER

El taller como unidad de producción se enfoca solo y netamente a impartir los conocimientos prácticos, sin ninguna dedicación al mantenimiento, es por ello que se debe considerar lo siguiente:

Ya que el taller no contabiliza un sistema de gestión de activos y no se tienen objetivos estratégicos, se debe priorizar plantear una propuesta de cuál es el foco principal del establecimiento, y para ello utilizaremos la misión de la escuela como principal fuente de extracción de las políticas, la visión define lo siguiente:

“Participar significativamente en la Formación Integral de los alumnos, entregando una sólida Formación Valórica, fortaleciendo la educación y desarrollando Competencias Profesionales concordantes con las exigencias del Sector Industrial.”

Además, no se debe olvidar la visión del establecimiento, que es la proyección de lo quiere llegar como una entidad educativa.

“Queremos ser una Escuela que se destaca por la calidad humana y profesional de sus integrantes. Una Escuela Abierta, Tecnológica, Pluralista y Vanguardista, que imparte una educación de calidad, que desarrolla las habilidades y actitudes necesarias para una convivencia armónica entre las personas, su cultura y el medio ambiente natural que les rodea.”

Como lo menciona la misión hay que desarrollar competencias en base a las exigencias del Sector industrial, el cual hoy tiene elevado estándares de producción y de procesos manufactureros como lo es el trabajar acero, grandes empresas de la región y del país enfocan sus procesos a realizarlos según procesos normativos dictados por entidades que acrediten a las empresas en una norma, ya sea una norma de Calidad como la ISO 9001, o de medio ambiente como la ISO 14000, todos estos factores, convergen en un mismo punto el cual es entregar un producto de calidad a los clientes generando el menor costo posible. Este concepto empuja a las instituciones como colegios, liceos a preparar técnicos nivel medio con una mayor capacidad de conocimientos de áreas prácticas como la fabricación, el mantenimiento, la programación de actividades y el uso de nuevas tecnologías. Por lo tanto es de vera importancia generar instancias de impartir conocimiento de nuevas materias, es por ello que se plantean políticas de mantenimiento en base a las necesidades que posee el taller y buscar el beneficio de que los estudiantes sean partícipes de este proceso.

2.1.1. Objetivos estratégicos del taller

- Aportar al perfil de egresado del Mecánico Industrial, ofreciendo un acercamiento directo al mundo del trabajo y encontrando la aplicación práctica de sus conocimientos a través del desarrollo de habilidades y destrezas mecánicas.
- Realizar periódicamente actividades prácticas utilizando maquinas herramientas con índices sobre el 83 % de disponibilidad, debido a que es el valor que debiese

haber para que los estudiantes puedan usar las maquinas –herramientas y realizar las actividades de las asignaturas. .

- Gestionar la seguridad de los estudiantes siguiendo los estándares y procedimientos según el decreto supremo N°40 de la Ley N°16.744 para garantizar la seguridad física.

Los objetivos estratégicos ayudaran a que el taller tenga un foco y orientación de que es lo que quiere lograr tanto en lo práctico como en la seguridad de los alumnos, lo cual es lo más importante para los profesores evitar o tener prácticamente la menor cantidad de accidentes o ningún accidente, es lo ideal en temas de seguridad para el establecimiento.

2.2. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Las políticas de mantenimiento son un factor importante del taller, ya que nos indican que dirección debe tomar las acciones de la especialidad, estas deben estar alineadas con la misión y objetivos de la empresa, en la propuesta de mantención del taller, se enfocara en un sistema de monitoreo de carácter sistemático, esto se define como la ejecución del mantenimiento basado en el recambio de componentes y lubricantes cada cierto periodo de tiempo. (No menor a 12 meses). Se cumple de tal modo que se necesita lograr un porcentaje de disponibilidad de los equipos, y a su vez como presenta menor cantidad de intervenciones suele ser más económico.

Factores que intervienen directamente con las políticas es que se realiza con base a las condiciones que presenta la escuela, y no en base a lo que se quisiese realizar, es por ello que las políticas pueden verse afectadas en el ámbito económico ya que esto requiere de planeación, estrategias, la distribución de recursos, y lo anterior nombrado es un impedimento con los escasos recursos que dispone el taller, esto hace alusión a que las políticas sean de carácter semi-cuantitativas.

Para las políticas de mantenimiento del taller tenemos la siguiente:

- Velar por la seguridad de los estudiantes como primera necesidad ante cualquier hecho.
- Realizar un 80 % de mantenimiento restaurativo y 20% de mantenciones preventivas, considerando los presupuestos anuales que entrega el colegio.
- Proponer una disponibilidad en primera instancia del 70% al 85%, estos valores se adecuan a satisfacer la necesidad de los estudiantes de usar los equipos del taller.

- Realizar revisiones semanales de los equipos mediante rutas de inspección para la verificación del estado de los activos del taller.
- Informar sobre cualquier hecho relevante que suceda en el taller que pueda afectar el funcionamiento de este mismo.
- Gestionar el inventario de repuestos mediante el monitoreo de las mantenciones programadas en el año.
- Realizar reuniones anuales para la retroalimentación del mantenimiento realizado en el año escolar.

2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO

En la industria desde hace años se empezó a implementar mantenciones desde los orígenes de la revolución industrial, esto llevo a un sinfín de estudios para cada vez ir mejorando los procesos de mantenimiento, Hoy en día en la actualidad hay varios tipos de mantenimientos cada uno muy parecido entre sí, pero con herramientas y costos diferentes, en la propuesta de mantenimiento se dará a proponer realizar dos tipos de mantenimiento, uno es el mantenimiento preventivo y el segundo es el mantenimiento restaurativo, en el caso del segundo se tomó esta elección por el hecho de tener una variedad de máquinas, con gran cantidad de años en el taller, y se pretende llevar estas máquinas a lo más parecido de cuando estaban en buenos índices de funcionamiento por lo que mencionan los profesores de la especialidad. A continuación se explican desde la perspectiva del autor del libro “*Manual del Mantenimiento*”, cuales son los tipos de mantenimientos que se usaran en la propuesta.

2.3.1. Mantenciones preventivas

Según (Pistarelli et al 2010), el mantenimiento preventivo pretende disminuir la frecuencia de las paradas no programadas aprovechando el momento más oportuno, tanto para producción como para mantenimiento. Como parte del mantenimiento preventivo se puede apreciar la inspección cíclica, conservación y restauración de un activo para evitar, detectar o corregir defectos. Se realiza en tiempos establecidos por la programación de las mantenciones de los activos del taller.

2.3.2. Mantenciones correctivas

Según (Pistarelli et al 2010), el mantenimiento correctivo consiste en la reparación de averías o fallos funcionales a medida que se van generando. Este tipo de mantenimiento fuerza la necesidad de contar con un exceso de personal de mantenimiento, además de un mayor número de reparaciones las cuales no siempre quedan bien y esto se puede traducir en fallas crónicas en los equipos.

Otra dificultad es la confección de presupuesto esto es debido a la incertidumbre de cuando se presentara una nueva falla. Esto genera a su vez a un incremento en los gastos de operación y de mantenciones

2.3.3. Mantenciones restaurativas (acción reactiva programada)

Según (Pistarelli et al. 2010), el mantenimiento correctivo, conocido como mantenimiento de restauración programada (MRP), diseña intervenciones controladas en base a los resultados obtenidos, luego de aplicar otros hábitos activos.

Después de detectar la desviación en algunos parámetros sensibles como alta vibración, alta temperatura, ruido excesivo, aceite contaminado, etc., se programa el procedimiento de recuperación para devolver el sistema al estado base original. Dependiendo del tamaño del espacio, habrá más o menos tiempo para planificar los trabajos.

Las herramientas habituales del Mantenimiento restaurativo son:

- Rutinas de inspección estáticas o dinámicas
- Rutas de lubricación
- Chequeos de recorrida zonal
- Defectos detectados durante la operación normal de la maquina
- Inspecciones basadas en condición (predictivas/ proactivas)
- Búsqueda de fallos ocultos
- Cualquier otra intervención pro-activa de mantenimiento

2.4. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Puede haber distintas estrategias de mantenimiento, las cuales se pueden diferenciar en las metodologías que desarrolla cada una para lograr los objetivos propuestos. Es necesario mencionar que las estrategias de mantenimiento se tienen que adaptar al contexto operacional de cada empresa. Pero además se tienen factores, como la cultura organizacional, costos de mantención, inventario, etc. Dentro de los distintos enfoques se tienen los siguientes procesos de tomas de decisiones:

- Datos de falla obtenidos de la recolección histórica de datos.
- Experiencia de operaciones, como datos y conocimientos técnicos obtenidos de las circunstancias de práctica en el trabajo.
- Análisis más insondables, por ejemplo, esquema de Ishikawa y Pareto, analizando los indicadores de fallas, Diagrama de dispersión logarítmica, análisis a los modos de fallos (FMECA).
- Condiciones Para controlar la información sobre el dispositivo o el componente dentro del período operativo normal, la primera etapa comienza a fallar y desarrollar justo antes del fallo.
- Diagnóstico basado en condiciones para el monitoreo y los equipos de pronóstico o componentes, condiciones de operación, métodos de producción.
- Diagnósticos predictivos utilizando analizador de vibraciones, ensayos no destructivos. Bastante usados cuando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos tienen que ser prácticamente niveles superiores al 95 %.
-

Tipos de mantenimientos aplicados al taller

En el transcurso del año se abordaran dos tipos de mantenimientos que se divide en mantenimiento preventivo y restaurativo, en los siguientes párrafos se explica en detalle y la función que van a cumplir en el propósito de los objetivos estratégicos del taller.

2.4.1.1 Mantenimiento preventivo

Como se mencionó en las políticas de mantenimiento se llevara a cabo en lo posible dos tipos de mantenimientos, uno es el mantenimiento preventivo en una capacidad de solo el 20% esto es debido a que se debe tener información base de las maquinas del taller, al no existir datos históricos no se puede determinar confiabilidad disponibilidad y varios otros indicadores que son relevantes a la hora de tomar decisiones, Un motivo importante pero que no es menor es que el mantenimiento preventivo debe

cumplir con ciertos valores de la función de distribución de fallas $f(t)$ confiabilidad $C(t)$ y de la tasa de fallas $\lambda(t)$, una ecuación que demuestra lo mencionado anteriormente es:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{C(t)}$$

Lo más indicativo para este caso es la curva de la bañera. Analizaremos las tres funciones

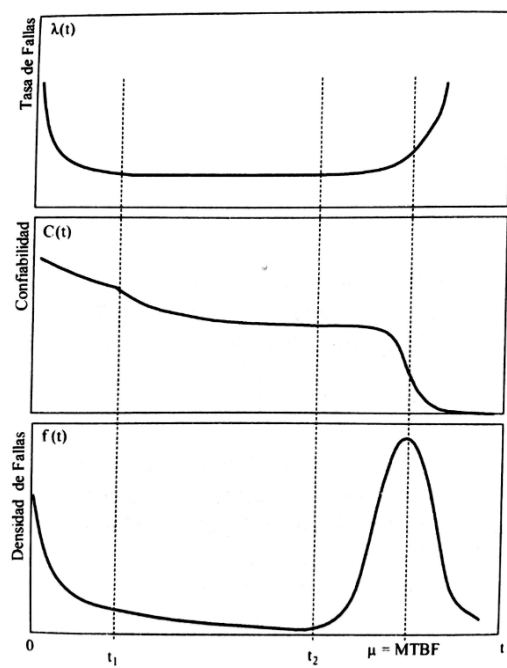


Figura 2-1. Comportamiento de las funciones $f(t)$, $C(t)$ y $\lambda(t)$,

Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro Pistarelli

Si analizamos las tres gráficas se muestran etapas distintas las cuales son: $[0;t_1]$, $[t_1;t_2]$, $[t_2;\infty]$, En la primera parte muestra la mortalidad infantil, en la segunda que se representa por una distribución exponencial, y al final con deterioro acelerado, que es representado por la distribución normal. Esto se traduce en lo siguiente “El mantenimiento preventivo tendrá aplicaciones viables si la última etapa de la distribución posee una dispersión o desviación baja.

Las acciones de carácter pro-activo tienen como finalidad aumentar la disponibilidad de los activos a través de la disminución de las paradas no programadas. El mantenimiento preventivo tiene la característica de aprovechar el momento más oportuno para intervenir los equipos amplificando su eficiencia. Si la planificación es adecuada, es

posible preparar piezas, herramientas, repuestos e insumos, seleccionado, además al personal más indicado para llevar a cabo el mantenimiento.

Es bien conocido que este tipo de mantenimiento si no es aplicado de la manera correcta puede tornarse bastante costoso, esto es debido a que no se realiza un análisis técnico. Económico adecuado, por ende no habría diferencias positivas en los indicadores tales como disponibilidad y confiabilidad.

Dentro de las tareas a realizar puede haber:

- **Sustitución de piezas:** Después que transcurre el tiempo algunos elementos de equipos comienzan a dar indicios de posibles fallas, como el desgaste, roce y fatiga, estos componentes deben ser revisado y ser cambiados por nuevos.
- **Restauración e inspección de equipos:** Al igual que la sustitución de piezas las acciones de inspección de equipos y de restauración se consideran rutinas de mantenimiento preventivas y consisten en controlar o revisar en forma programada los equipos para llevarlos a su estado de condición básica original.
- **Limpieza lubricación:** Algunas partes de las maquinas requieren de acciones para conservarlas en buenas condiciones. Esto se lleva a cabo mediante rutinas periódicas de lubricación, ajustes y limpiezas preventivas.

2.4.1.2. Mantenimiento restaurativo

Para el caso del mantenimiento restaurativo se ve con ojos de ser la mejor opción, considerando el contexto del taller, teniendo maquinarias desde hace más de 50 años que siguen funcionando, la gestión se enfocara en mantener su estado actual y mejorar de tal modo de ir recuperando la capacidad de usar maquinarias sin tener fallas imprevistas que puedan demorar los procesos de aprendizajes. Dentro de las tareas que se pueden realizar tenemos las siguientes:

- **Restauración e inspección de equipos:** restauración se consideran rutinas de mantenimiento preventivas y consisten en controlar o revisar en forma programada los equipos para llevarlos a su estado de condición básica original. Esto con la finalidad de ir marcando un funcionamiento cada vez más acercado a cuando el activo se encontraba en su etapa inicial de funcionamiento.

- **Sustitución de piezas:** Después que transcurre el tiempo algunos elementos de equipos comienzan a dar indicios de posibles fallas, como el desgaste, roce y fatiga, estos componentes deben ser revisados y ser cambiados por nuevos.
- **Mantenimiento preventivo:** En este mantenimiento preventivo se tendrá en cuenta la participación de los alumnos de la especialidad de mecánica industrial, es por ello que se les designarán roles según sus méritos propios en lo académico y en las aptitudes sobre conocimientos adquiridos a lo largo del año escolar. Esto con la finalidad de solventar la carga horaria de las tareas programadas de mantenimiento según el calendario establecido para el 2022. Y permitir a los profesores generar instancias de aprendizajes que son muy importantes para los alumnos, sobre todo en terceros medios.

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO

Empezando por una matriz semi-cualitativa de mantenimiento y obteniendo resultados cualitativos y después de realizar políticas de mantenimiento y de escoger una metodología de trabajo FMCA, se procede a diseñar el plan de mantenimiento enfocándose en la misión y visión del establecimiento. Además uno de los factores importantes es el cálculo realizado del MCCR el cual entregó datos que el sector de dimensionado y de tornos son los que entregaron un valor alto clasificándolo en activos críticos del taller, es por aquello que se concentrará los procedimientos y la gestión de mantenimiento en estos sectores en su mayoría.

Para poder realizar los planes de mantenimiento se debe saber la condición del taller y analizar los puntos débiles que se generan en el taller, sobre todo con las máquinas que generan un impacto perjudicial en las actividades realizadas por los estudiantes. Como no existen datos históricos sobre las mantenciones que se realizaron a lo largo de estos años, se asume que se comenzará desde cero en el momento que la propuesta se implemente en el taller.

La metodología a usar en el diseño del plan de mantenimiento es el **FMCA**, las tablas realizadas y los análisis se encontrarán adjuntadas en los anexos.

Los encargados de generar las mantenciones serán los profesores y quedará estipulado según el calendario escolar que tienen los alumnos, se pretende plantear una parada de los equipos la cual se estará programando entre el inicio de clases del periodo normal hasta el periodo de culminación de clases, se puede apreciar en los anexos la manera que quedó

distribuido y las actividades que se deben realizar según la planificación conversada con los mismos profesores.

SISTEMA DE TRABAJOS

Es parte esencial del mantenimiento poder trabajar de forma ordenada y recopilando la mayor cantidad de información posibles es por ello que existen las Órdenes de Trabajos. Para esta sección se va a definir el sistema central que va definir la manera de hacer mantenimiento, la cual se va a llevar a cabo mediante las órdenes de trabajo (OT), son una herramienta muy útil que documenta y contiene información muy importante de los trabajos que se deben realizar luego que un equipo presenta algún modo de falla este debe repararse a la brevedad. Esta información es importante ya que contiene responsables, tiempos de trabajos, insumos, procedimientos, repuestos a solicitar, etc.

Las órdenes de trabajos son importantes para la gestión del mantenimiento, ya que su información puede arrojar un historial de valores que pueden ser usados para comenzar a comprender la toma de decisiones importantes, mediante el uso de KPI'S.

Se estableció un formato de OT genérico para el taller de la especialidad el cual se encuentra en los anexos de esta tesis. Esto con el fin de generar un registro formal de los trabajos realizados, y de este modo tener un mayor control de las planificaciones de los mantenimientos. Se entregará al profesorado una planilla de Microsoft Excel, para que puedan guardar todos los datos correspondientes. Posteriormente se vayan recopilando datos, se comenzará a realizar un banco de datos sobre las mantenciones, para evaluar a través de indicadores como se encuentra el taller. Se debe recordar que en el taller no existió y no hay mantenciones programadas, por ende, se implementara desde cero

2.7. FMCA

AMDEC o FMECA (Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad) Es una metodología para identificar y analizar todos los patrones potenciales de fallas de los diversos componentes del sistema, los efectos que estas fallas pueden tener en el sistema y cómo evitar fallas y / o reducir su impacto en el sistema. En otras palabras, y en aras de la simplicidad, FMECA es una técnica para identificar, priorizar y eliminar posibles fallas del sistema (a nivel de diseño o proceso). Tiene una utilidad muy importante en la gestión del mantenimiento y a su vez se puede encontrar aspectos evaluables tales como:

- Seleccionar alternativas de diseño en las primeras etapas del desarrollo del producto o sistema.
- Considerar todos los posibles modos de falla y sus efectos.
- Enumerar las posibles fallas y determine la gravedad de sus efectos.
- Establecer criterios para ejecutar un plan de prueba sólido y eficaz para la resolución de problemas.
- Obtener conocimiento de futuros desarrollos y cambios de diseño. Esto proporciona la base para la planificación del mantenimiento.

Para la propuesta de mantenimiento se adjuntara el FMECA que se encontraran en los anexos de la sierra vertical marvel. Con el fin de tener presente posibles modos de fallas, para poder generar acciones correctivas y preventivas ante los posibles escenarios de que un equipo falle por algún modo de falla indicado.

Para ello, primero se debe Identificar la Intención del Diseño, es decir, la manera que participa el equipo en el proceso, teniendo en cuenta los parámetros de operación, equipos envueltos, medidas de control y personal implicado en el proceso.

Luego de identificar el propósito del diseño, corresponde determinar el Análisis Funcional del equipo, es decir, establecer las funciones primarias y secundarias, esto permitirá obtener los modos de falla asociados a cada función para comenzar con la priorización de estos. Para efectos de este trabajo nuestra función principal es “Cortar el acero mediante el desprendimiento de viruta”,

A continuación, se comienza el proceso de determinar los Modos de Falla, donde se comenzará con un análisis meticuloso de todas las posibles formas en que puede fallar las distintas funciones.

Posteriormente se determinan los efectos producidos por los modos de falla, esto es, la forma en que la falla se manifiesta dentro del equipo, dentro de las cuales están los aumentos/disminución de temperatura, vibraciones excesivas, cortes de energía, atascamiento de material en la hoja, Etc.

En último lugar se procede a determinar la criticidad de cada modo de fallo, por lo cual se utilizará el número de priorización de riesgos (NPR). Dicho número establece un valor, en escala de 1 a 10, para determinar la Severidad, Ocurrencia y Detección.

A continuación, en la Tabla 2-1, se puede apreciar la escala de valores asociados a la Severidad, que se refiere a que tan graves son los efectos si alcanzase a ocurrir el Modo de Falla.

Efectos	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad. Cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad. Cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbación grave a la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptado. Ajustes y terminaciones y sonidos en el ítem no están en la conformidad, defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en la línea pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en la línea pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos.	1

Tabla 2-1: Tabla de Severidad

Fuente: ISO 14224

Por otra parte, y tal como lo muestra la Tabla 2-2, se encuentra la escala de Ocurrencia, que se relaciona con la probabilidad de que la falla ocurra.

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable.	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia.	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones.	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 15.000	3
Muy baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos.	≤1 en 1.500.000	1

Tabla 2-2: Tabla de Ocurrencia

Finalmente, y como lo muestra la Tabla 2-3 está la escala de Detección, que está referida a la probabilidad de ser detectada la falla antes de que esta ocurra.

Detección	Criterios : Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla.	10
Muy remota	Muy remota la probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	9
Remota	Remota la probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	8
Muy baja	Muy baja la probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable.	1

Tabla 2-3: Tabla de Detección

Una vez obtenido los valores de Severidad, Ocurrencia y Detección, corresponde obtener el producto de dichos números, para así de este modo poder determinar el grado de criticidad de la tarea de mantenimiento, dichos valores se dan a conocer en la Tabla 2-4 , que establece los rangos y la criticidad correspondiente.

Rango	Criticidad
1 – 124	Riesgo de falla bajo
125 – 499	Riesgo de falla medio
500 – 1000	Alto riesgo de falla

Tabla 2-4: Tabla de rangos de Criticidad

Luego de obtener los valores de Criticidad, se ordenarán de mayor a menor criticidad, para poder priorizar y profundizar en aquellas labores que puedan afectar de manera considerable dentro del proceso. Después de calcular en base a los valores que

establece el FMCA se determina que existen un total de 23 aspectos de riesgo de falla bajo, se consideran un total de 8 aspectos de riesgo de falla medio y un total de cero en cuanto fallas de alto riesgo.

Con estos resultados se plantearan tareas de mantenimiento para cada subsistema de la sierra vertical MARVEL.

2.8. INDICADORES (KPI'S)

Los indicadores son instrumentos que facilitan la toma de decisiones, ya que proporcionan una información relevante sobre la situación y evolución de una organización. Estos deben ser precisos en cuanto a la información que se desea recopilar y evitar que se genere confusión, que pueda perjudicar la toma de decisiones. Un factor considerable a la hora de usar indicadores es establecer responsables que se encarguen de generar un muestreo e interpretar datos, ya sea en graficas de barras, graficas de dispersión, o algún esquema que represente lo que se está logrando con aquel indicador.

El uso de indicadores habla de una organización que está creciendo y desea mejorar sus procesos, los indicadores son importantes para la gestión y para la toma de decisiones. Esto interfiere directamente con la calidad de las decisiones que se toman, por los valores que entregan los indicadores a la empresa.

Según la norma UNE 66175 E2003 existe un cuadro conceptual que explica en base al ciclo de vida de los indicadores y cuadros de mando, como se ve en la **Figura 2-3**.

2.8.1. **INDICADORES A UTILIZAR**

La implementación de indicadores para el taller es un valor agregado que otorga un grado más de industrialización a los procesos educativos que se imparten en el taller, de este modo se avanza en un proceso de mejora continua apuntando siempre a perfeccionar la manera de enseñar y que los estudiantes puedan interiorizarse en estos aspectos fundamentales en los trabajos, tales como recolectar datos, entregar informes, analizar fallas, realizar mantenciones preventivas, etc. Los indicadores que se emplearan básicamente son tres, que serían los siguientes:

- 1. Disponibilidad de los equipos. (Ai)
- 2. Tiempos entre fallas (MTBF)
- 3. Tiempo entre reparaciones (MTBR)

2.8.2. **DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS (Ai)**

Propósito: Mantener los equipos productivos en un nivel de disponibilidad suficiente para cumplir con los criterios de evaluación de los programas del Mineduc.

Tareas:

- Revisar equipos visualmente
- Reparar equipos defectuosos
- Gestionar recambios de repuestos.

Responsable del proceso y periodicidad:

Indicadores de 1er nivel	Responsables	Periodicidad	Fuente de información	Forma de representación
Disponibilidad de los equipos	Ian Ibaceta Fábrega	Semanal	Hojas de datos de órdenes de trabajos posteriores.	Gráficas de barra.

Ecuación del cálculo:

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

2.8.3. TIEMPOS MEDIOS ENTRE FALLAS (MTBF)

Propósito: Llevar registro del tiempo promedio desde que comenzó una falla hasta que comienza la siguiente parada no programada

Tareas:

- Reparar equipos defectuosos
- Gestionar tiempos de fallas y reducirlos.

Responsable del proceso y periodicidad:

Indicadores de 1er nivel	Responsables	Periodicidad	Fuente de información	Forma de representación
MTBF	Miguel Melo González	Semanal	Hojas de datos de órdenes de trabajos posteriores.	Graficas

Ecuación del cálculo:

$$MTBF = \frac{\text{(Tiempo total que la máquina está disponible para funcionar)}}{\text{(Total de paradas)}}$$

2.8.4. TIEMPOS MEDIOS ENTRE REPARACIONES (MTTR)

Propósito: Llevar registro utilizando el tiempo promedio que lleva realizar una reparación después de que se haya producido la falla.

Tareas:

- Reparar equipos defectuosos
- Gestionar tiempos de reparación.

Responsable del proceso y periodicidad:

Indicadores de 1er nivel	Responsables	Periodicidad	Fuente de información	Forma de representación
MTTR	Luis Valenzuela	Semanal	Hojas de datos de órdenes de trabajos posteriores.	Graficas

Ecuación del cálculo:

$$MTBF = \frac{\text{(Tiempo total de reparación)}}{\text{(numero de fallas)}}$$

2.8.5. INTERPRETACIÓN DE DATOS

La interpretación de datos será una parte esencial de lo que se está planteando, de aquello se podrán obtener indicadores e ir informando sobre la situación actual del taller. Para aquello el encargado será Ian Ibaceta como jefe de mantención, además de los profesores Luis Valenzuela y Miguel Melo. Los cuales velaran por la correcta toma de datos y generar un banco de datos, para posteriormente procesarlos, el fin de esto es reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, que sean de gran inversión para el taller.

CAPÍTULO 3: VIABILIDAD ECONÓMICA

3.1. CONTEXTO ECONÓMICO DEL TALLER

Una de tantas variables que son de verdadera importancia en esta propuesta de mantenimiento, es reconocer cual es el contexto del taller económicamente, un factor que será importante a la hora de asignar recursos para futuras reparaciones programadas, esto con la finalidad de poder conocer la situación actual, y poder acercarse a la realidad misma que se encuentra el taller. Si bien se otorgan recursos ministeriales, una gran parte de estos recursos son utilizados en comprar herramientas, materias primas y maquinarias, además de los sueldos de los docentes y paradocentes. Dentro de los presupuestos anuales lo que se destina al mantenimiento se concentraría en un aproximado del 1%, en los anexos se adjuntan los montos entregados por el ministerio a la Escuela siendo un total de:

Aporte Total Subvenciones	\$ 1024.554.539
Aporte destinado a Mantenimiento	\$ 10.345.657

Siendo estos valores se marginan bastantes considerando un total de 6 especialidades, lo cual daría un monto a ocupar de \$2.069.131 anuales, considerando desde Marzo hasta Diciembre, se puede apreciar que el rango que se maneja es algo ajustado, y que cualquier decisión relevante o que infrinja un gasto muy alto debe ser conversado previamente con dirección. Dicho esto se puede empezar a trazar líneas de lo que se puede planificar al futuro, teniendo en cuenta que este valor puede fluctuar según la cantidad de alumnos que se matriculan cada año. Considerando todo esto se darán a conocer tipos de gastos que se deben considerar en mantenciones futuras y se redactara un Excel con todo los valores actualizados en valores de UF, para ir considerando cuanto varia el mercado en cuanto a los precios desde inicio de año de Marzo de 2022.

3.2. TIPOS DE GASTOS

Tradicionalmente los gastos de mantenimiento se agrupan de acuerdo a dos criterios; por tipo de gastos y por la relación con el volumen de actividad. La primera categorización contempla los siguientes rubros:

- Mano de obra
- Materiales (repuestos, insumos, consumibles, etc.)
- Terceros (servicios especializados, mano de obra contratada, consultoría, etc.)
- Financieros (mantenimiento de inventarios, amortización de equipamiento, etc.)

El segundo criterio divide a los gastos de la siguiente forma:

- Fijos
- Variables

(Pistarelli,2010,p.609)

3.2.1. Gastos de mano de obra

La mano de obra puede representar el mayor gasto en mantenimiento. La dotación permanente dedicada a tareas técnicas y administrativas es un gasto fijo. Los gastos directos de mano de obra para acciones pro-activas y reactivas de todo el parque de máquinas, surgen de planificar la demanda de dichas acciones en función del plan de mantenimiento de cada activo. Solo así, puede establecerse con certeza el volumen total de gastos por este concepto. Las tareas administrativas de gestión (indirectas) también demandan mano de obra que debe incluirse en el gasto. (Pistarelli, 2010, p.609)

3.2.2. Gastos de materiales

Los repuestos, insumos y materiales también constituyen un buen porcentaje del total de los gastos operativos de mantenimiento. Los gastos de materiales se generan por los repuestos reiterados del Almacén y consumidos en las tareas reactivas y pro-activas, y por las compras de materiales de cualquier índole con el mismo fin. Mantenimiento puede estimar estos gastos contabilizando en total de vales emitidos contra las órdenes de trabajo al valor correspondiente de cada ítem. También, sumando las Órdenes de compra relacionadas con materiales usados por mantenimiento.

De igual forma que para los gastos de mano de obra, los proveedores de servicios pueden discriminar que proporción de su facturación corresponde a materiales. Luego, se imputa el monto a la cuenta contable correspondiente lo que permitirá saber el gasto total en materiales. (Pistarelli, 2010, p.609)

3.2.3. Gastos de tercerización

La tercerización tiende a reducir los gastos fijos, permitiendo erogar recursos económicos sólo en el momento preciso. Generalmente se dejan para la contratación aquellas tareas variables dependientes de la demanda de trabajo. El nivel de gastos en terceros o servicios contratados (outsourcing) depende de muchos factores, pero sobre todo de la situación geopolítica de la zona de operación y de la política corporativa de la compañía. No existe una verdad absoluta en este sentido, cada empresa debe disponer de los servicios de terceros en la medida de su conveniencia.

El control de gastos de terceros puede hacerse desde el sistema contable y desde el SIM, siempre que la facturación de los prestadores sea impulsada a las OT's correspondientes de cada trabajo. Toda la información volcada a los sistemas corporativos (contable o de gestión de mantenimiento) también es válida para fines presupuestarios. (Pistarelli, 2010, p.610)

3.2.4. Gastos financieros

Forman parte de este rubro el gasto financiero por mantener el stock inmovilizado de repuestos y el costo de amortización de equipos o instrumental sofisticado para tareas de complejidad técnica. (Pistarelli, 2010, p.610)

3.2.5. Gastos fijos

Una visión transversal de los gastos, es dividirlo en fijos y variables. Los gastos fijos son las erogaciones de dinero en las que incurre la empresa independientemente del volumen de actividad.

La mano de obra del personal permanente operativo y administrativo es un reflejo de costos fijos que no depende del número de intervenciones pro-activas o reactivas. Un ejemplo de gastos fijos serían los siguientes:

- Las remuneraciones del personal
- Los gastos administrativos del área técnica
- Los repuestos utilizados en tareas proactivas, cuya frecuencia es calendarizada
- Los servicios contratados periódicamente

- El consumo de lubricantes en rutinas pro activas calendarías
- Programa anual de capacitaciones del personal de mantenimiento
- Las amortizaciones de los equipos de inspección y diagnostico
- El costo financiero anual de los repuestos inmovilizados

(Pistarelli, 2010, p.611)

3.2.6. Gastos variables

Por otra parte tenemos los costos variables que son todos los que guardan cierta relación con el volumen de actividad de Mantenimiento o con el régimen de funcionamiento de los equipos.

Las intervenciones correctivas para solucionar fallos imprevistos que requieran la realización de horas extras, son gastos variables. De la misma forma que las consecuencias económicas que estos provocan. También son variables los gastos de mano de obra en horas extras y los repuestos de las acciones pro-activas cuyas frecuencias de ejecución dependan del régimen de marcha de los equipos o del volumen de producción.

Los gastos de materiales u horas extras por acciones restaurativas surgidas de otros mantenimientos pro- activos se consideran gastos variables. (Pistarelli, 2010, p.611)

3.3. GASTO INTEGRAL DE MANTENIMIENTO

Las empresas que buscan resultados favorables a mediano y largo plazo basan la gestión de sus activos en el gasto integral de mantenimiento, es decir consideran los cinco factores simultáneamente:

- Mano de obra
- Materiales
- Terceros
- Financieros
- Inducidos(debido a fallos)

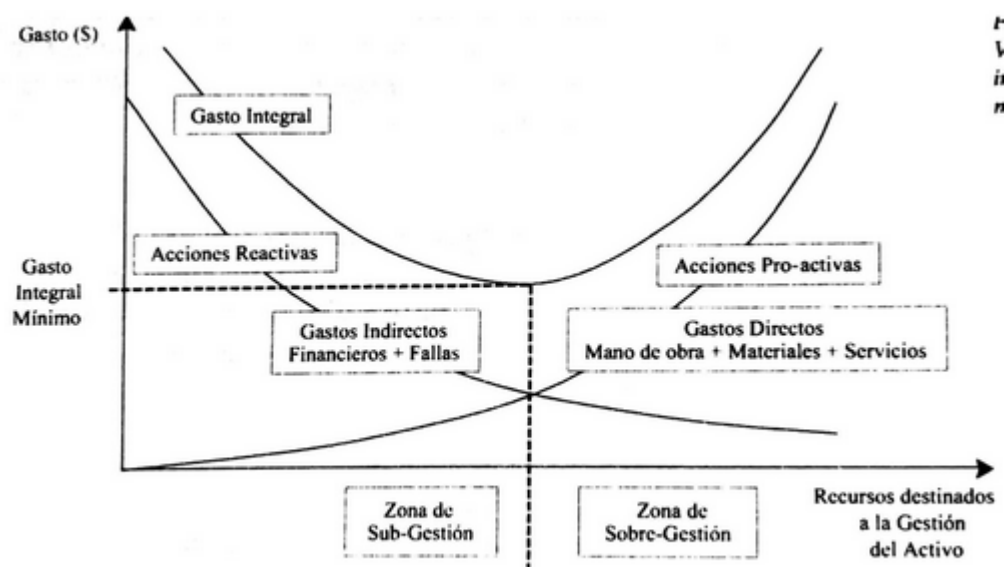


Figura 3-1: Variación del gasto integral de mantenimientos

Fuente: Manual de Mantenimiento Alejandro J. Pistarelli

La figura 3-1 muestra que a mayor esfuerzo pro-activo, mayores son los costos que generan los gastos para conllevar a cabo dicho esfuerzo. Lo contrario ocurre con las acciones reactivas. Puede esperarse un punto de equilibrio en el cual gasto integral de mantenimiento es el mínimo. (Pistarelli, 2010, p.612)

3.4. COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO

En la estructura colectiva del mantenimiento se disponen tareas preventivas o correctivas dependiendo de un factor muy importante que es los costos de mantenimiento, esto va de la mano con el presupuesto anual que cuenta cada organización para poder cumplir con las metas propuestas por el departamento de mantenimiento. En el caso del taller de mecánica industrial los gastos son totalmente correctivos y esto implica que no hay un valor exacto de cuanto se gasta anualmente en mantenimiento, pero se tiene un estimado que es el valor que se determina para cada especialidad en asuntos de mantenciones.

Una de las aristas importantes de esta propuesta es poder recabar la mayor cantidad de información en cuanto a los gastos tantos como fijos y los posibles variables que puedan surgir en el transcurso del año. A continuación se muestra una tabla con los valores de las actividades de mantenciones que serán primordial para establecer el plan de

mantenimiento según el calendario establecido en el capítulo dos. Estos contarán con un valor determinado en cuanto al costo de mantenciones en conjunto con los profesores, las horas hombre fueron calculadas según el valor nominal de las horas cronológicas de los docentes del área. Y el tiempo es una estimación inicial que puede ir variando en consecuencia que vaya pasando el tiempo para hacer mucho más real los costos y se acerquen a un valor que no posea tanta desviación en cuanto al valor que se plantea en la propuesta de mantenimiento.

Como dato referencial se agregara un apartado en UF para poder tener en consideración como fluctúa el precio a medida que transcurre el tiempo. Esto con la finalidad de poder realizar análisis futuros. Se tomara la fecha a consideración desde el 14/01/2022, que sería un valor de 31.076,56 CLP.

						\$ 31.077	\$ 33.943
NºITEM	Actividades a realizas	Repuestos e Insumos	Costos de insumos	FF	Costo total	Costo total UF al 14/01/2022 31.076	Costo total UF al 07/09/2022
1	Limpieza y lubricación general de tornos	Paños y aceite	\$ 4.490	5	\$ 22.450	0,72240943	\$ 24.521
2	Chequeos visuales de tornos,fresas y sector de dimensionado	Lista de chequeo de maquinarias	\$ -	36	\$ -	0	\$ -
3	Recambio de correas de transmisión de maquina MARVEL	Correas de transmisión	\$ 12.980	2	\$ 25.960	0,835356294	\$ 28.354
4	Cambios de aceites de tornos caja de engranajes	Aceite Mobil SHC 625	\$ 63.950	2	\$ 127.900	4,115642143	\$139.697
5	Recambio de pernos de apriete del carro transversal de tornos	Pernos M8x1,75	\$ 7.290	3	\$ 21.870	0,703745846	\$ 23.887
6	Recambio de correas de transmision de los tornos	Correas de transmisión	\$ 129.800	2	\$ 259.600	8,353562943	\$283.544
7	Cambio de aceite de Fresadoras	Aceite Mobil SHC 625	\$ 63.950	2	\$ 127.900	4,115642143	\$139.697
8	Cambio de hoja de sierra de Sierra vertical Marvel	Hoja de sierra	\$ 12.490	2	\$ 24.980	0,803821272	\$ 27.284
9	Cambio de ampolletas luces de los tornos	Ampolletas	\$ 19.800	3	\$ 59.400	1,91140847	\$ 64.879
10	Verificación de rpm del torno	Odometro	\$ -	9	\$ -	0	\$ -
11	Verificacion de temperaruta de los motores del torno	Pirometro	\$ -	9	\$ -	0	\$ -
12	Verificacion de temperaruta del motor de la sierra marvel	Pirometro	\$ -	9	\$ -	0	\$ -
13	Recambio de Poleas de las Fresadoras	Kit de Poleas	\$ 25.000	1	\$ 25.000	0,804464844	\$ 27.306
14	Recambio de bujes de asiento del eje de la fresa	Bujes de Bronce Diametro 80 mm	\$ 94.000	2	\$ 188.000	6,049575629	\$205.340
TOTAL					\$ 883.060	28,41562901	\$964.509

Tabla 3-1: Costos de Mantenimiento

Fuente: Software Excel Microsoft

De la Tabla 3-1 de Costos de Mantenimiento, se puede apreciar que tendrá un valor total aproximado de **\$883.060 CLP**, esto sin considerar posibles gastos que no se encuentren presupuestados, derivados de mantenimientos correctivos. Para cubrir este vacío de posibles fallas futuras se dejó un valor que sería la diferencia del presupuesto otorgado menos los costos de mantenimientos para mantenciones de la especialidad, lo que daría un total de **\$1.261.181CLP**, para posibles gastos variables que puedan ocurrir.

3.5. COSTOS DE RECAMBIO DE MÁQUINARIAS

Siendo el taller de mecánica industrial uno de los talleres con la mayor cantidad de maquinarias en la escuela industrial de Valparaíso, se debe analizar que la gran mayoría de las máquinas-herramientas presente pasan de los 40 años de uso y hay que tener en cuenta que cada vez las tecnologías van avanzando rápidamente y van dejando a otras obsoletas, como medio para poder seguir mejorando se debe mirar hacia adelante y pensar que cada vez estamos viviendo cambios en cuanto a la manufactura de aceros y materiales, es por esto que como especialidad de mecánica industrial , se instauro la idea de poder solicitar una renovación de dos tornos que son los que se adjuntan en la siguiente figura.



Figura 3-2: Tornos convencionales 1&2
Fuente: Taller Mecánica Industrial

Estos tornos convencionales de bancada de 1 metro se denominan por número y son el 1 y el 2, como se mencionó en unos párrafos más arriba llevan más de 40 años funcionando y en la curva de la bañera de los activos se encuentran en el sector de la curva que va aumentando el número de índice fallas a medida que transcurre el tiempo esto mencionado se aprecia en la siguiente gráfica.

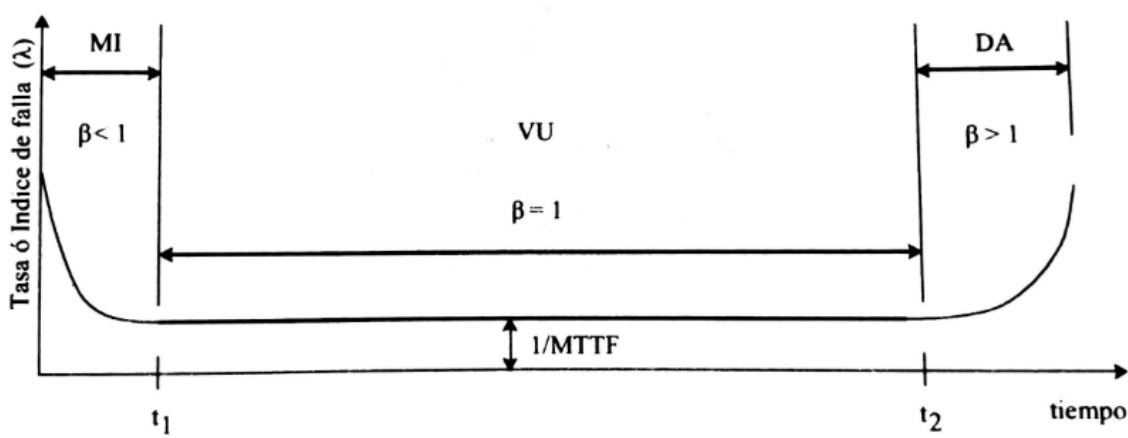


Figura 3-3: Periodo de vida útil consistente, curva de la bañera

Fuente: Manual de Mantenimiento Alejandro J. Pistarelli

Esta grafica se puede interpretar de la siguiente manera; Según (A. Pistarelli et al 2010) durante el periodo VU es aplicable la ley exponencial para el cálculo de Confiabilidad. Transcurrida VU, la tasa de fallas total del sistema comienza aumentar en forma acelerada, disminuyendo abruptamente la confiabilidad puntual a partir de t_2 . En t_2 finaliza VU y comienza el intervalo DA de deterioro acelerado y agotamiento.

Los tornos 1&2 del taller se encuentran en este instante en DA es por ello que seguirán fallando y mostrando un valor de $\beta > 1$, esto se traduce que las mantenciones correctivas se vuelven frecuentes y los costos de mantenciones comienzan a subir, es por esto que se propone la adquisición de dos nuevos activos. (Pistarelli, 2010, p.55)

El torno mecánico paralelo 1 metro fi-1340azj como se aprecia en la Figura 3-4 cuenta con las capacidades necesarias para lo que es la enseñanza de los módulos que se deben impartir, es por lo mismo que ya se tienen en el sector de tornos con 6 modelos iguales al que se menciona en este párrafo.



Figura 3-4: Torno mecánico paralelo 1 metro fi-1340azj

Fuente: <https://aco.cl/ficha/7813>

En el siguiente recuadro se aprecian los valores referenciales que denominan de costos por la adquisición de estas dos maquinarias nuevas.

Item	Torno mecánico paralelo 1 metro fi-1340azj	Cantidad	Costo	Iva	Costo Bruto	Costo total UF al 14/01/2022 31.076
Costo Unitario	\$ 5.768.000	2	\$11.536.000	\$ 2.191.840	\$ 13.727.840	441,750547
Envío	\$ 79.999	1	\$ 79.999	\$ 15.200	\$ 95.199	3,06341904
Instalación	\$ 49.900	2	\$ 99.800	\$ 18.962	\$ 118.762	3,82166302
TOTAL					\$ 13.941.801	448,635629

Tabla 3-2: Cotización de tornos paralelos

Fuente: Software Excel Microsoft

Esta propuesta de recambio se hará llegar a dirección de la escuela para que pueda analizar lo planteado y poder pensar en implementar el recambio de las maquinarias. Cabe mencionar que en la infinita posibilidad de que sea aceptada la propuesta, esta será gestionada en conjunto con el departamento de comprar de la escuela para poder llevar acabo la adquisición e instalación de los tornos.

3.6. MOTIVOS DE IMPLEMENTACIÓN DE COSTOS

Para hacer frente a los costos se debe tener un resultado que demuestre el porqué de llegar a realizar tal operación, y revisar en base datos cuantitativos la viabilidad económica en base a indicadores económicos como el TIR, PAYBACK, que nos entregan una estimación de que tan conveniente puede ser invertir en un proyecto. Esta propuesta tiene un foco distinto ya que no hay un ciclo económico de por medio de obtener utilidades a lo largo del proyecto. Los fundamentos presentes para esta propuesta son los siguientes:

- Generar aumento de la disponibilidad entre el 65% al 75% de las maquinarias para no entorpecer el proceso educativo, y poder cumplir con los planes de estudio del ministerio.
- Aumentar la participación de los estudiantes por aprender nuevas materias de Ingeniería de Mantenimiento a equipos Industriales.
- Gestionar el inventario del taller según calendario de mantenciones.
- Generar indicadores para la toma de decisiones futuras.
- Reducir los cuellos de botellas que se generan en el taller.
- Evitar fallas imprevistas.
- Prolongar la duración de los activos del taller.
- Generar una base de datos.
- Proponer Calendario de mantenciones anuales.
- Disminuir frecuencia de fallas.
- Actualización de los tornos 1&2 del sector de Torneado.
- Disminuir costos inesperados debido a fallas correctivas.
- Implementar Órdenes de Trabajo.

Como se puede apreciar son varios los fundamentos que pueden realizar un cambio significativo en el taller, esto podría ser un antes y un después de cómo puede mejorar el funcionamiento general del taller, es por eso que se debe pensar la opción de implementar esta propuesta y generar un cambio significativo pensando en el futuro y en los próximos estudiantes que vendrán.

CONCLUSIONES

Capítulo 1:

En este capítulo se dieron a conocer las primeras instancias del estado del taller lo cual sirvió para reconocer los puntos débiles que presenta el taller, esto se pudo aterrizar con una matriz cualitativa de mantenimiento realizada a los profesores de la especialidad y docentes de otras especialidades para generar un mayor impacto en los datos y poder traspasar información de varias especialidades de la escuela. Esto conlleva a procesar los datos que indicaban en gran medida que como especialidad se concentraba en la etapa 2 de la matriz esto quiere decir que hay “conciencia” de lo que está sucediendo y se deben implementar medidas que aporten a solucionar las fallencias que pueden existir.

Capítulo 2

Respecto al objetivo dos, se logra lo que se había propuesto, esto debido a que se propuso diferentes herramientas para poder extender la vida útil de los activos del taller, tales como: FMCA, Ordenes de trabajo, Calendario de mantenciones. Cabe destacar que si bien se propone utilizar indicadores como el MTTR, MTBF y Disponibilidad, estos serán recién implementados si se aprueba la propuesta, ya que no existen datos históricos de fallas, esto dificulta el hecho de querer realizar un análisis más profundo, como por ejemplo un Jack Knife o calcular el ciclo de vida de los activos. La meta es poder implementar todas estas herramientas y en base a esto mejorar la gestión del taller y de los activos.

Capítulo 3:

En cuanto al objetivo del capítulo tres se plantea la implementación de una propuesta económica que servirá de base y sustento para definir si se avanza con la implementación o se debe modificar alguna acción para hacerla más atractiva a ojos del empresariado, es por esto que este objetivo tiene su propio mérito si es que se aplica, ya que desde ese momento se inicia un proceso completamente distinto que es desde la mirada de la implementación de todas estas herramientas planteadas en estas memorias.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a modo de mejora para el taller implementar bitácoras de mantenimiento que serán útiles para comenzar a obtener datos históricos de mantenimiento, como lo es los tiempos destinados al mantenimiento, indicadores que se pueden extraer gracias a estos datos.

Se propone comenzar a invertir en el sector de mantención de maquinarias por la obsolescencia que se tiene en el taller, esto puede conllevar a tener gran cantidad de máquinas indisponibles, lo cual si bien se puede obviar por un tiempo, al largo plazo genera problemas, de atrasos de actividades para los estudiantes y cuellos de botellas, por la baja disponibilidad de maquinarias para poder realizar actividades prácticas.

Se propone capacitar al personal en metodologías de gestión de activos, para generar un avance de conocimientos del sector docente con la finalidad de poder resolver en base a lo adquirido problemáticas de gestión y de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON 18-19
<http://www.mantenimientomundial.com/notas/Tecnicas-Auditoria.pdf>
- 2) Rodríguez, J., Parra, C., Solís, D., López, M., López, M., & Parra, J. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo.
https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/351334679_Tecnica_de_Jerarquizacion_de_Activos_MCCR_Matriz_de_Criticidad_Cualitativa_de_Riesgo_Caso_de_estudio_Equipos_de_produccion_de_lentes_Oftalmicas_del_laboratorio_de_la_empresa_PRATS_Costa_Rica_a_Industria/links/6091aed5a6fdccaebd091fdc/Tecnica-de-Jerarquizacion-de-Activos-MCCR-Matriz-de-Criticidad-Cualitativa-de-Riesgo-Caso-de-estudio-Equipos-de-produccion-de-lentes-Oftalmicas-del-laboratorio-de-la-empresa-PRATS-Costa-Rica-Industria.pdf
- 3) **<https://www.eiv.cl/mision-y-vision/>**
- 4) Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de Mantenimiento* (1.^a ed.). Argentina: Edición del Autor. Argentina: Edición del Autor.

- 5) <https://www.fluke.com/es-cl/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/como-solucionar-problemas-en-motores-y-variadores-a-partir-de-las-entradas>

ANEXOS

Formulario de Google MCM ANEXO A

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfORxXKq08Mv02_646GW5fhIkuEdVY_A6hG-BzgRvpE0DJ6Fw/viewform

Criterios de evaluación de (MCCR) ANEXO B

JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS FISICOS						
Activos del taller	Frecuencia de fallas	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos de Mantenimiento	Impacto SHA	TOTAL
Nº						
1 Torno 20	1	3	1	1	1	5
2 Torno 19	2	5	3	2	3	35
3 Torno 18	1	3	1	1	1	5
4 Torno 17	1	3	1	1	1	5
5 Torno 16	1	1	1	1	1	3
6 Torno 15	2	1	1	1	1	4
7 Torno 14	2	1	1	1	1	4
8 Torno 13	1	1	1	1	1	3
9 Torno 12	1	1	1	1	1	3
10 Torno 11	2	1	1	1	1	4
11 Torno 10	2	1	3	1	1	8
12 Torno 9	2	1	3	1	1	8
13 Torno 8	1	1	3	1	1	5
14 Torno 7	1	1	3	1	1	5
15 Torno 6	1	1	3	1	1	5
16 Torno 5	1	1	3	1	1	5
17 Torno 4	1	3	1	1	1	5
18 Torno 3	1	3	1	1	1	5
19 Fresa 1	1	1	3	1	1	5
20 Fresa 2	1	1	3	1	1	5
21 Fresa 3	1	1	3	1	1	5
22 Fresa 4	1	1	1	1	1	3
23 Fresa 5	1	1	1	1	1	3
24 Fresa 6	1	1	1	1	1	3
25 Fresa 7	2	6	1	1	1	14
26 Fresa 8	1	6	1	1	1	8
27 Fresa 9	1	6	1	1	1	8
28 Sierra Vertical MARVEL	4	10	3	1	3	124
29 Sierra de banda SPIDO	4	5	1	1	1	22

FRECUENCIA

4	MC	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C	C
2	NC	NC	MC	C	C	C
1	NC	NC	NC	MC	MC	C

CONSECUENCIA

10	NC	NC	NC	MC	MC	C
20	NC	NC	NC	MC	MC	C
30	NC	NC	NC	MC	MC	C
40	NC	NC	NC	MC	MC	C
50	NC	NC	NC	MC	MC	C

Áreas de sistemas No Críticos (NC)

Áreas de sistemas de Media Criticidad (MC)

Áreas de sistemas Críticos (C)

Valor máximo: 200

Resultados Matriz cualitativa de Resultados Matriz cualitativa de mantenimiento
ANEXO C

Interpretación de datos

Etapas Criterios	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
	Incertidumbre	Conciencia	Entendimiento	Madurez	Excelencia
Aptitud Gerencial	2	0	2	0	0
Status de la organización Mantenimiento	2	1	1	0	0
Costes totales Mantenimiento/ costes totales de producción	2		1	1	0
Formas de resolver los problemas	1	3	0	0	0
Calificación y adiestramiento del personal de mantenimiento	1	2	0	0	1
Manejo de la información y toma de decisiones	1	3	0	0	0
Posición de la organización en relación al mantenimiento	1	0	1	1	1

Fuente: Parra. C & Crespo, A Apunte Técnicas de Auditoria aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad

CALENDARIO MANTENCIONES ANEXO D

Simbología		Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre									
S(Semanalment	Tareas programadas 2022	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V										
	Observaciones: Encargados		1	2	3	4				1	2	3	4	5	6		1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Ian Ibaceta		7	8	9	10	11	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
	Luis Valenzuela		14	15	16	17	18	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31											
	Daniel Castillo		21	22	23	24	25	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
	Miguel Melo		28	29	30	31	25	26	27	28	29	30	31					27	28	29	30					31																					
▲	Limpieza y lubricación general de tornos	14-03-2022			31-03-2022													30-06-2021																													
▲	Chequeos visuales de tornos,fresas y dimensionadora de acero	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
➡	Recambio de correas de transmisión de maquina MARVEL												16-05-2021																																		
➡	Cambios de aceites de tornos caja de engranajes								21-04-2022																																						
▲	Recambio de pernos de apriete del carro transversal de tornos												26-05-2022																																		
➡	recambio de correas de transmision de los tornos																							17-08-2022																							
➡	Cambio de aceite de Fresadoras								21-04-2022																																						
★	Cambio de hoja de sierra de Sierra vertical Marvel																																														
▲	Cambio de ampolletas luces de los tornos					25-04-2021																																									
➡	Verificación de rpm del torno																	06-06-2022																													
➡	Verificacion de temperaruta de los motores del torno	07-03-2022							12-04-2022					25-05-2022				24-06-2021							24-08-2021			28-09-2022																			
➡	Verificacion de temperaruta del motor de la sierra marvel	07-03-2022							12-04-2022					25-05-2022				24-06-2021							24-08-2021			28-09-2022																			
★	Recambio de Poleas de las Fresadoras																																														
➡	Recambio de bujes de asiento del eje de la fresa																																														

FMCA SIERRA VERTICAL MARVEL ANEXO E

ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA									
Sistema	Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Severidad Ocurrencia Detectabilidad RPN
S I E R R A V E R T I	Sistema de transmisión de velocidades de giro	1	Hacer girar sistema de poleas entre 100 a 120 rpm	A	Polea no gira	1	Correa de transmisión cortada	Detención de la hoja	8 4 3 96
						2	Correa de transmisión suelta	Hoja atascada en el material	6 8 4 192
						3	Bloqueo de seguridad activado	No enciende	4 3 3 36
						4	Motor en cortocircuito	Aumento y/o disminución del voltaje	8 3 4 96
				B	Polea no gira dentro del rango de rpm	1	Correa de transmisión mal tensada	Exceso de rebabas en el material	4 7 3 84
						2	Potencia del motor baja	Aumento de temperatura	5 3 6 90
						3	Baja tensión de la correa	Hoja atascada en el material	4 7 3 84
	Carro longitudinal	2	Recorrer la bancada de forma manual en un rango de 0 a 2 metros	A	Carro longitudinal no se desplaza	1	Engranaje del carro de desplazamiento dañado en sus dientes	La mesa de trabajo no avanza, aumento de temperatura	7 3 3 63
						2	Cremallera de bancada longitudinal dañada	Eje de avance trabado	6 5 3 90
						3	Manivela del carro atascada	La mesa de trabajo no avanza	6 3 4 72
				B	La distancia que recorre es menor al rango nominal	1	Tramo de cremallera no tiene largo correspondiente según fabricante	Exceso de vibraciones	4 4 2 32
				C	Dificultad para mover el carro sobre la mesa	1	Guías de bancada excesivamente sucias de grasas	Corrosión en las guías	3 6 3 54
						2	Dientes de cremallera desgastados	Aumento de temperatura y vibraciones	4 3 3 36
						3	Guías de bancada deformadas	Exceso de vibraciones	4 3 3 36
						1	Eje del tensor desgastado	Aumento de temperatura	4 3 4 48

C A L M A R V E L	Tensador de la hoja de banda	3	Generar tensión de la hoja de manera manual	A	Tensador no se mueve	2	Hilos del eje se encuentran aplastados	Atascamiento del tensor	4	3	4	48
						3	Suciedad en el interior del eje	Corrosión en el interior del eje	4	5	3	60
				B	Tensador no realiza la tensión correcta	1	Tensador se encuentra fracturado	Exceso de vibraciones	8	3	3	72
						2	Tensador se encuentra desgastado	Aumento de temperatura y vibraciones	5	4	4	80
	Tablero eléctrico	4	Proteger los componentes de mando y de control	A	Regulador de voltaje defectuoso	1	Voltaje cambiado frecuentemente	Aumento y/o disminución del voltaje	5	4	5	100
						2	Aumento de corriente eléctrica	Aumento y/o disminución del voltaje	6	4	7	168
				B	condensadores de filtrado dañados	1	Aumento de calor en el sistema	Aumento de temperaturas residuales en el sector	6	3	7	126
						2	Cortocircuito de las conexiones	Aumento y/o disminución del voltaje	6	4	5	120
	Motor eléctrico	5	Convertir energía eléctrica en energía mecánica	A	Corto circuito	1	Cableado cortado	No enciende	5	4	6	120
						2	Aislantes de los conductores deteriorados	Aumento de temperatura	5	4	3	60
						3	Conexiones en contacto con el agua	Goteras cerca del equipo	7	3	5	105

ORDENES DE TRABAJO ANEXO F

EMPRESA: ESCUELA INDUSTRIAL DE VALPARAÍSO			
N° OT: 000001			
Tipo OT: CORRECTIVA / PREVENTIVA			
Departamento de mantenimiento			
Taller:		Equipo:	
Ubicación:		Codigo Equipo:	
Horas de funcionamiento:		Tipo Funcionamiento:	
Frecuencia de Falla:			
Emisión:	Solicitante:	Fecha Inicio: / /	Fecha Fin: / /
Centro de costo:		Fecha Solicitud OT: / /	
Permiso de seguridad (Si / No)	Motivo:	Prioridad:	
Causa de Falla:		Motivo que indica la falla:	
Descripción del trabajo:		Elementos protección personal (EPP):	
Firma Jefe Area		Firma responsable ejecución	

TAREAS - ESPECIALISTAS					
N° Tarea	Descripción de la tarea	Especialista	Fecha ejecución	Tiempo Ejecución	
				Estimado	Real
1					
2					
3					
4					

REPUESTOS, MATERIALES E INSUMOS				
Items	Descripción	Cantidad	UM	Código
1				
2				
3				
4				

LISTAS DE HERRAMIENTAS		
Código	Descripción	Cantidad
1		
2		
3		
4		

TRABAJOS Y/O SERVICIOS EXTERNOS					
N° Tarea	Descripción de la tarea	Especialista	Fecha ejecución	Tiempo Ejecución	
				Estimado	Real
1					
2					
3					
4					
5					

REPUESTOS EXTERNOS		
Código	Descripción	Cantidad
1		
2		
3		
4		

Observaciones:	
Fecha Registro: / /	Hora:

PRESUPUESTO ANUAL ESCUELA INDUSTRIAL DE VALPARAÍSO ANEXO

G

**SUBVENCIONES ENTREGADAS POR MINISTERIO DE EDUCACIÓN
PARA EL DESARROLLO INSTITUCIONAL Y BENEFICIO ESCOLAR AÑO 2018**

MES	SUB. GRAL	GRATUIDAD	SEP PRIORI.	SEP PREF.	PRO RETENC.	MANTEN.	TOTAL SUBVENCIONES
ENERO	\$58.570.178	\$4.320.634	\$13.312.388	\$2.282.254	\$30.777.692	\$10.345.657	
FEBRERO	\$58.570.178	\$4.320.634	\$13.341.518	\$2.285.707			
MARZO	\$57.759.822	\$5.555.098	\$13.625.441	\$2.285.706			
ABRIL	\$63.120.837	\$6.120.837	\$15.463.349	\$2.404.694			
MAYO	\$63.076.885	\$5.993.977	\$15.145.816	\$2.355.608			
JUNIO	\$59.158.448	\$5.858.290	\$14.876.534	\$2.227.136			
JULIO	\$58.532.205	\$5.680.133	\$14.280.513	\$2.268.216			
AGOSTO	\$57.222.354	\$5.483.875	\$13.715.187	\$2.224.788			
SEPT.	\$70.684.966	\$5.415.948	\$13.482.973	\$2.215.572			
OCTUBRE	\$57.606.848	\$5.386.253	\$13.393.603	\$2.207.422			
NOVIEM.	\$57.933.952	\$5.418.003	\$13.469.169	\$2.218.922			
DICIEM.	\$60.492.774	\$5.658.866	\$14.098.258	\$2.308.421			
TOTALES	\$722.729.447	\$65.212.548	\$168.204.749	\$27.284.446	\$30.777.692	\$10.345.657	\$1.024.554.539