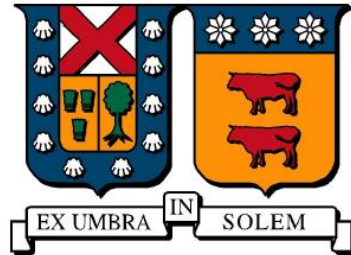


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA  
MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO - CHILE



PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO PARA TALLER  
METALMECÁNICO UTFSM, CAMPUS SAN  
JOAQUÍN

FERNANDO JAVIER GÓMEZ CORNEJO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL MECÁNICO MENCIÓN ENERGÍA

PROFESOR GUÍA: FELIPE CHACANA YORDA

PROFESOR CORREFERENTE: LUIS GUZMÁN BONET

Mayo - 2017



## AGRADECIMIENTOS

A mi madre por siempre apoyarme y entregarme un gran ejemplo de perseverancia y constancia, los valores que me ha inculcado y la constante motivación por finalizar mi trabajo de título, pero más que nada, por su amor incondicional., te quiero mucho *Yoli*

A mi padre, por ser un referente y un ejemplo a seguir durante este proceso que se llama vida, por no ejercer ninguna presión y dejarme decidir en todo momento lo que yo quiero hacer con mi futuro y por su amor mantenido a través del tiempo, te quiero mucho papá.

A mi hermano *Carlos*, por siempre mantenerme motivado a través de su ejemplo y por estar constantemente preocupado de lo que me sucede, a mi tía *Berta* por estar siempre pendiente de lo que me sucede y por el amor entregado, y a todos aquellos familiares que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo de título.

A mi *polola Andrea* por su apoyo incondicional en este trabajo, especialmente cuando me alentó en los momentos difíciles sobre todo cuando parecía que me iba a rendir, por no ponerme presión alguna para terminar este trabajo, por las correcciones hechas y por el amor incondicional entregado en este proceso, te amo *pequeñita*.

A mis profesores, *Felipe* y *Luis* por ser un gran aporte en este trabajo, a pesar de que en algún momento haya sido difícil asimilar las correcciones hechas por ustedes, se agradece que las hayan hecho para que este trabajo resultara de buena forma.

A los apoyos académicos, *Exequiel*, *Jaime*, *Claudio* y *Manuel* por la gran cantidad de información aportada, por su amplia disposición y por ayudar que este trabajo de título saliera adelante.

## Resumen

La Universidad Técnica Federico Santa María en su Campus San Joaquín cuenta con un Taller de Metalmecánica en donde se imparten cátedras prácticas a alumnos de diversas carreras, éste comprende máquinas herramientas necesarias para realizar procesos de mecanizado metálico.

Actualmente el taller no cuenta con un sistema de Mantenimiento de dichas máquinas, sino más bien, éstas se reparan cuando presentan un fallo funcional por lo cual dejan de operar en condiciones normales, lo que representa un problema para el desarrollo de las actividades regulares dentro del emplazamiento, ya que la máquina puede estar indisponibles por un tiempo considerable con respecto a los plazos establecidos para el semestre.

Dentro de este trabajo de título se entrega una base para un sistema de gestión de mantenimiento, en donde se considera la situación actual del taller para seleccionar la táctica de mantenimiento basada en riesgos (**RBM**), posteriormente se define la criticidad de los procesos acorde a los que representan mayor riesgo para la integridad de los alumnos y el medioambiente, factores que son claves para la organización, según el marco estratégico del taller.

Una vez definidos los procesos críticos, se avanza en el sistema de gestión, considerando el mantenimiento preventivo, sin embargo previo a la realización de dicho plan se debe elaborar un sistema de administración del trabajo.

Finalmente, ya elaborado el sistema, mediante órdenes de trabajo, se definen las tareas de inspección y se planifica el mantenimiento preventivo a través de un plan matriz de mantenimiento con un horizonte temporal de 5 años.

## **Abstract**

The Federico Santa Maria Technical University, San Joaquin Campus, has a metalworking workshop where practical assignments are given to students of various careers. This involves machine tools necessary to perform metal machining processes.

At the moment, the workshop does not have a system of maintenance for the existing machinery. Currently they are repaired when they present a failure. This represent a problem for the development of the regular activities within the site, since a machine that is unavailable for a considerable time interferes with the deadlines established for the semester.

This thesis provides a basis for a maintenance management system. The current situation of the workshop is considered to select risk based maintenance approach, and then the criticality of assets is defined according to the hazard to students and environment, key factors according to the strategic framework of the organization.

Once the criticality assessing is done, it's time to move forward to preventive maintenance but, first a work maintenance management system has to be done, to establish a basis for the next steps.

Finally, already elaborated the management system, as work orders sheet, it's made the preventive maintenance plan, which is planed through a matrix plan for the next five years. .

## **Glosario**

**CBM:** Mantenimiento Basado en Monitoreo de Condiciones

**TPM:** Mantenimiento Productivo Total

**RBM:** Mantenimiento Basado en riesgo

**RCM:** Mantenimiento Basado en Confiabilidad

**AMFEC:** Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad

**OSHA:** Administración de Salud y Seguridad Ocupacional

**TOS:** Estructura Técnica de Objetos

**OT:** Orden de Trabajo

# 1 Índice

|                                                           |                               |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Dedicatoria .....                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| Resumen .....                                             | iii                           |
| Abstract .....                                            | iv                            |
| Glosario .....                                            | v                             |
| Índice de Figuras .....                                   | ix                            |
| Introducción .....                                        | xvi                           |
| Descripción del Problema .....                            | xviii                         |
| Objetivos .....                                           | xx                            |
| Objetivo General .....                                    | xx                            |
| Objetivos Específicos .....                               | xx                            |
| Capítulo 1 .....                                          | 1                             |
| 1 Metodología de Trabajo .....                            | 1                             |
| 1.1. Marco Teórico y Estado del Arte .....                | 1                             |
| 1.2. Marco Teórico y Estado del Arte .....                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.3. Diagnóstico de la situación Actual del Taller .....  | 2                             |
| 1.4. Selección de Táctica de Mantenimiento .....          | 3                             |
| 1.5. Definición de Criticidad de Activos .....            | 3                             |
| 1.6. Resultados .....                                     | 3                             |
| 1.7. Conclusiones .....                                   | 4                             |
| Capítulo 2 .....                                          | 5                             |
| 2 Antecedentes .....                                      | 5                             |
| 2.1 La Institución .....                                  | 5                             |
| 2.2 Misión Universidad Técnica Federico Santa María ..... | 6                             |
| 2.3 Visión Universidad Técnica Federico Santa María ..... | 6                             |
| 2.4 Campus San Joaquín .....                              | 7                             |
| Capítulo 3 .....                                          | 8                             |
| 3 Marco Teórico .....                                     | 8                             |
| 3.1 Activos que comprende el Taller .....                 | 8                             |
| 3.1.1 Fresadora .....                                     | 9                             |
| 3.1.2 Torno .....                                         | 10                            |
| 3.1.3 Soldadora por Arco Manual .....                     | 12                            |

|                                             |                                                              |    |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.4                                       | Esmeril .....                                                | 13 |
| 3.1.5                                       | Limado de Metal .....                                        | 14 |
| 3.1.6                                       | Taladro .....                                                | 15 |
| 3.1.7                                       | Soldadora MIG .....                                          | 15 |
| 3.1.8                                       | Rectificadora .....                                          | 16 |
| 3.1.9                                       | Sierra Horizontal de Huincha .....                           | 17 |
| 3.2                                         | Tipos de Mantenimiento .....                                 | 18 |
| 3.2.1                                       | Mantenimiento Correctivo .....                               | 19 |
| 3.2.2                                       | Mantenimiento Preventivo .....                               | 20 |
| 3.2.3                                       | Mantenimiento Predictivo .....                               | 20 |
| 3.3                                         | Tácticas de Mantenimiento .....                              | 21 |
| 3.3.1                                       | Mantenimiento Basado en Monitoreo de Condiciones .....       | 22 |
| 3.3.2                                       | Reemplazo a Tiempo Constante .....                           | 23 |
| 3.3.3                                       | Mantenimiento Productivo Total .....                         | 24 |
| 3.3.4                                       | Mantenimiento Basado en Riesgo .....                         | 26 |
| 3.3.5                                       | Mantenimiento Centrado en Confiabilidad .....                | 27 |
| 3.4                                         | Modelos de Evaluación de Criticidad .....                    | 29 |
| 3.4.1                                       | Modelo de Evaluación de Criticidad por Riesgo .....          | 29 |
| 3.4.2                                       | Evaluación de Criticidad de Infraestructura .....            | 33 |
| 3.4.3                                       | Ranking de Criticidad de Activos .....                       | 33 |
| 3.4.4                                       | Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad (AMFEC) ..... | 34 |
| Capítulo 4                                  | .....                                                        | 37 |
| 4 Situación Actual del Taller Metalmecánico | .....                                                        | 37 |
| 4.1                                         | Perfil de Mantenimiento .....                                | 39 |
| 4.2                                         | Contexto Operacional del taller .....                        | 41 |
| 4.2.1                                       | Contexto Interno .....                                       | 42 |
| 4.2.2                                       | Contexto Externo .....                                       | 46 |
| Capítulo 5                                  | .....                                                        | 48 |
| 5 Táctica de Mantenimiento                  | .....                                                        | 48 |
| 5.1                                         | Criterios de Decisión .....                                  | 48 |
| 5.2                                         | Selección de Táctica de Mantenimiento .....                  | 51 |
| Capítulo 6                                  | .....                                                        | 55 |
| 6 Criticidad de Activos                     | .....                                                        | 55 |

|                                                                                                                                    |                                                             |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----|
| 6.1                                                                                                                                | Selección de Modelo de definición de criticidad .....       | 56 |
| 6.2                                                                                                                                | Definición de criticidad mediante Norma ISO 31.000.....     | 58 |
| 6.2.1                                                                                                                              | Contexto de Gestión del Riesgo.....                         | 58 |
| 6.2.2                                                                                                                              | Desarrollo de Criterio de Riesgo .....                      | 60 |
| 6.2.3                                                                                                                              | Valoración del Riesgo.....                                  | 65 |
| 6.2.4                                                                                                                              | Identificación del Riesgo .....                             | 66 |
| 6.2.5                                                                                                                              | Análisis del Riesgo .....                                   | 68 |
| 6.2.6                                                                                                                              | Evaluación del Riesgo .....                                 | 71 |
| 6.2.7                                                                                                                              | Tratamiento del Riesgo.....                                 | 73 |
| Capítulo 7                                                                                                                         | .....                                                       | 74 |
| 7                                                                                                                                  | Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios ..... | 74 |
| 7.1                                                                                                                                | Elaboración de Sistema de Administración del Trabajo .....  | 75 |
| 7.2                                                                                                                                | Elaboración de Plan de Mantenimiento.....                   | 77 |
| 7.3                                                                                                                                | Elaboración de propuesta de Plan Matriz.....                | 82 |
| 7.4                                                                                                                                | Tarea de inspección rutinaria .....                         | 82 |
| Anexo A                                                                                                                            | .....                                                       | A  |
| A.Estructura Técnica de Objetos.....                                                                                               |                                                             | A  |
| Anexo B                                                                                                                            | .....                                                       | E  |
| B.Matrices de Riesgo .....                                                                                                         |                                                             | E  |
| Anexo C                                                                                                                            | .....                                                       | CC |
| C.Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad de los activos críticos para<br>determinar las necesidades de mantenimiento ..... |                                                             | CC |
| Anexo D                                                                                                                            | .....                                                       | QQ |
| D.Listas de chequeo rutinarias .....                                                                                               |                                                             | QQ |
| Referencias.....                                                                                                                   |                                                             | UU |

## Índice de Tablas

|                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 4-1:</b> Registro de fallas ocurridas en Tornos <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                                                                                                                                               | 40 |
| <b>Tabla 4-2:</b> Registro de fallas para fresas <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                                                      | 41 |
| <b>Tabla 4-3:</b> Registro de Fallas para taladros de pedestal <b>Fuente:</b> Elaboración Propia                                                                                                                                              | 41 |
| <b>Tabla 4-4:</b> Distribución de cantidad máxima de alumnos por semestre correspondientes a cada carrera en Taller Metalmecánico y su promedio anual <b>Fuente:</b> Información entregada por apoyo académico .....                          | 44 |
| <b>Tabla 5-1:</b> Matriz de decisión por criterios absolutos para seleccionar la Táctica de Mantenimiento más adecuada según el Contexto Operacional del Taller <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                       | 54 |
| <b>Tabla 6-1:</b> Matriz de decisión, por criterios absolutos, para elección de Modelo de definición de Criticidad de Activos en planta. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....                                                               | 57 |
| <b>Tabla 6-2:</b> Medidas Cuantitativas del Nivel de Impacto en Salud y en Medio Ambiente de un riesgo dado en Apoyos Académicos y Alumnos. <b>Fuente:</b> Adaptado de [21], Tabla de Evaluación de Consecuencias del Riesgo Industrial ..... | 63 |
| <b>Tabla 6-3:</b> Medidas Cuantitativas del Nivel de Exposición a un riesgo determinado <b>Fuente:</b> Adaptado de [37], Tabla de tiempos de exposición al riesgo.....                                                                        | 64 |
| <b>Tabla 6-4:</b> Medidas Cuantitativas de la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado en el Personal <b>Fuente:</b> Adaptado de [21], Tabla de Probabilidad de ocurrencia de un riesgo .....                                       | 64 |
| <b>Tabla 6-5:</b> Magnitud, clasificación del riesgo y medidas que deben ser tomadas frente al suceso <b>Fuente:</b> Adaptado de [37]. Tabla de Magnitud y Clasificación del Riesgo                                                           | 65 |
| <b>Tabla 6-6:</b> Tabla de Factores de Riesgos Identificados para todas las zonas de trabajo del Taller <b>Fuente:</b> Adaptado de [40], Figura de Factores de Riesgo en la organización .....                                                | 67 |
| <b>Tabla 6-7:</b> Valores de flujo de aire mínimo y diámetro de ducto establecidos para un ventilador mecánico por Norma OSHA para mantener un ambiente seguro dentro de                                                                      |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| una zona de soldadura <b>Fuente:</b> Tabla extraída de documento 29 CFR.1910.252(c) de norma OSHA [41] .....                                                                                                                                                | 70 |
| <b>Tabla 6-8:</b> Valores de flujo de aire medidos a una distancia de entre 15 a 20 [cm] desde el trabajo de soldadura, primera columna con todos los extractores abiertos, luego con ciertos extractores cerrados. <b>Fuente:</b> Elaboración Propia ..... | 70 |
| <b>Tabla 6-9:</b> Cálculo de Factor de Criticidad de Activos en base a Cantidad de Riesgos en Salud <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                 | 71 |
| <b>Tabla 6-10:</b> Cálculo de Factor de Criticidad de Activos en base a Cantidad de Riesgos Medioambientales <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                                                                                                         | 72 |
| <b>Tabla 6-11:</b> Nivel de Criticidad para los Procesos calculado en base al criterio expuesto en sección 6.2.6. <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                   | 72 |
| <b>Tabla 7-1:</b> Programa de Inspección y Mantenimiento para Soldadura por Arco Manual <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                             | 78 |
| <b>Tabla 7-2:</b> Programa de Inspección y Mantenimiento para Soldadora MIG/MAG <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                                     | 79 |
| <b>Tabla 7-3:</b> Programa de Inspección y Mantenimiento para Torno Horizontal <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                                      | 80 |
| <b>Tabla 7-4:</b> Programa de Inspección y Mantenimiento para Fresadora Vertical <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                                    | 81 |
| <b>Tabla 7-5:</b> Programa de Inspección y Mantenimiento para Esmeril de Pedestal <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                                                                   | 82 |
| <b>Tabla 7-6:</b> Extracto de listado de máquinas, con encargado correspondiente <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....                                                                                                                                    | 83 |
| <b>Tabla 0-7:</b> Extracto de Plan matriz de mantenimiento <b>Fuente:</b> Ajustado de Plan matriz anual planteado por [42].....                                                                                                                             | 85 |
| <b>Tabla 7-8:</b> Extracto de Plan matriz de mantenimiento <b>Fuente:</b> Ajustado de Plan matriz anual planteado por [42].....                                                                                                                             | 86 |
| <b>Tabla B-1:</b> Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                                                                                                   | F  |

|                                                                                                                                                                 |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Tabla B-2:</b> Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (b) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....       | G |
| <b>Tabla B-3:</b> Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (c) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....      | H |
| <b>Tabla B-4:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....      | I |
| <b>Tabla B-5:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (b) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....      | J |
| <b>Tabla B-6:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (c) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....      | K |
| <b>Tabla B-7:</b> Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (a) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....       | L |
| <b>Tabla B-8:</b> Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (b) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....       | M |
| <b>Tabla B-9:</b> Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (c) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....       | N |
| <b>Tabla B-10:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Esmerilado (a) <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....     | O |
| <b>Tabla B-11:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Esmerilado (b) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....    | P |
| <b>Tabla B-12:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Taladrado (a) <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....      | Q |
| <b>Tabla B-13:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Taladrado (b) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....     | R |
| <b>Tabla B-14:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Rectificado (a) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....   | S |
| <b>Tabla B-15:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Rectificado (b) <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....   | T |
| <b>Tabla B-16:</b> Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Sierra de Huincha <b>Fuente:</b> Elaboración propia ..... | U |

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla B-17:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Soldadura <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....                                | V  |
| <b>Tabla B-18:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Fresado <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....                                   | W  |
| <b>Tabla B-19:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Fresado <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....                                   | X  |
| <b>Tabla B-20:</b> Identificación de factores de Riesgo medioambientales en zona de Afilado de Herramientas <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....                   | Y  |
| <b>Tabla B-21:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Rectificado <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....                               | Z  |
| <b>Tabla B-22:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Sierra de Huincha <b>Fuente:</b> Elaboración propia .....                        | AA |
| <b>Tabla B-23:</b> Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Taladrado <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                                 | BB |
| <b>Tabla C-1:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Bancada de Torno) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                              | DD |
| <b>Tabla C-2:</b> Análisis de Modo de Falla, efecto y criticidad en Torno (Cabezal Fijo de Torno) (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                          | EE |
| <b>Tabla C-3:</b> Análisis de Modo de Falla, efecto y criticidad en Torno (Cabezal Fijo de Torno) (b) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                         | FF |
| <b>Tabla C-4:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Caja Norton de Velocidad de avance) (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                        | GG |
| <b>Tabla C-5:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Caja Norton de Velocidad de avance) (b) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                        | HH |
| <b>Tabla C-6:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Carro Portaherramientas) (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia.....                                    | II |
| <b>Tabla C-7:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Carro Portaherramientas) (b) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                   | JJ |
| <b>Tabla C-8:</b> Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Caja de velocidades de Husillo) (a) <b>Fuente:</b> Elaboración Propia ..... | KK |

**Tabla C-9:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Caja de velocidades de Husillo) (b) **Fuente:** Elaboración Propia ..... LL

**Tabla C-10:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Carro Longitudinal) **Fuente:** Elaboración Propia.....MM

**Tabla C-11:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Ménsula) **Fuente:** Elaboración Propia..... NN

**Tabla C-12:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Cabezal vertical) (a) **Fuente:** Elaboración Propia ..... OO

**Tabla C-12:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Cabezal vertical) (a) **Fuente:** Elaboración Propia .....PP

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1-1:</b> Diagrama de Flujo de Metodología de Trabajo para la consecución del Objetivo general <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                | 2  |
| <b>Figura 3-1:</b> Fresadora Vertical de 3 ejes <b>Fuente:</b> Gómez, S (2006) [2] .....                                                                                       | 10 |
| <b>Figura 3-2:</b> Torno Paralelo Shenyang <b>Fuente:</b> Imat Ltda. [4] .....                                                                                                 | 11 |
| <b>Figura 3-3:</b> Esquema del Proceso de Soldadura <b>Fuente:</b> INDURA S.A. [5] .....                                                                                       | 12 |
| <b>Figura 3-4:</b> Esmeril de Banco para afilado de Herramientas <b>Fuente:</b> Imvadem S.A. [8] .....                                                                         | 13 |
| <b>Figura 3-5:</b> Limas Bastardas de Diferentes secciones transversales <b>Fuente:</b> Tecnología Técnica [10] .....                                                          | 14 |
| <b>Figura 3-6:</b> Esquema Básico de Soldadura MIG <b>Fuente:</b> Indura S.A. [5] .....                                                                                        | 16 |
| <b>Figura 3-7:</b> Rectificadora Plana <b>Fuente:</b> FAMA S.A. [12] .....                                                                                                     | 17 |
| <b>Figura 3-8:</b> Sierra Horizontal de Huincha <b>Fuente:</b> TecnoMaquinaria S.A. [14] .....                                                                                 | 18 |
| <b>Figura 3-9:</b> Arquitectura de la Metodología utilizada en CBM <b>Fuente:</b> Jardine (2006) [19] .....                                                                    | 23 |
| <b>Figura 3-10:</b> Metodología de Trabajo de TPM <b>Fuente:</b> Nakajima (1992) [23] .....                                                                                    | 25 |
| <b>Figura 3-11:</b> Procedimiento General de RBM <b>Fuente:</b> Sakai (2010) [25] .....                                                                                        | 27 |
| <b>Figura 3-12:</b> Estructura de la metodología utilizada en RCM <b>Fuente:</b> Smith, 1993 [28] .....                                                                        | 28 |
| <b>Figura 3-13:</b> Proceso de Gestión de Riesgo según Norma ISO 31.000:2009 <b>Fuente:</b> Purdy (2010) [29] .....                                                            | 32 |
| <b>Figura 3-14:</b> Proceso de Elaboración de Plan de Mantenimiento mediante Modo de Falla, Efecto y Criticidad <b>Fuente:</b> Aguilar-Otero et. Al [32] .....                 | 36 |
| <b>Figura 4-1:</b> Disposición Física de equipos en Taller Metalmecánico de Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín. <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .. | 38 |
| <b>Figura 4-2:</b> Organigrama de Departamento de Ingeniería Mecánica <b>Fuente:</b> Memoria de Gestión DIMEC 2015.....                                                        | 45 |
| <b>Figura 4-3:</b> Organigrama de Taller Metalmecánico <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                                                 | 46 |

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 0-1:</b> Orden de Trabajo para tareas de Mantenimiento dentro del Taller Metalmecánico de la Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín |    |
| <b>Fuente:</b> Trabajo ajustado de modelo expuesto por [21] .....                                                                                                   | 76 |
| <b>Figura 7-2:</b> Estructura de diseño del Plan Matriz de Mantenimiento <b>Fuente:</b> Arata, A. (2009) [38] .....                                                 | 83 |
| <b>Figura A-1:</b> Estructura Técnica de Sistema de Soldadura por Arco Manual <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                               | A  |
| <b>Figura A-2:</b> Estructura Técnica de Sistema de Soldadura MIG <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....                                                            | B  |
| <b>Figura A-3:</b> Estructura Técnica de Sistema de Torno <b>Fuente:</b> Elaboración Propia ...                                                                     | C  |
| <b>Figura A-4:</b> Estructura Técnica de Sistema de Fresadora Vertical de 3 ejes <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                            | D  |
| <b>Figura D-1:</b> Lista de Chequeo de Máquina Soldadora de Arco Eléctrico <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                  | RR |
| <b>Figura D-2:</b> Lista de Chequeo de Torno Horizontal de 3,5 [kW] <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                         | SS |
| <b>Figura D-3:</b> Lista de Chequeo de Fresa Universal de 4 [kW] <b>Fuente:</b> Elaboración Propia .....                                                            | TT |

## Introducción

La Universidad Técnica Federico Santa María se encuentra inserta en el marco de planteles de Educación Superior en Chile, impartiendo carreras principalmente del área de Ingeniería y Tecnología, para esto cuenta con distintos Campus y Sedes dentro de la Región de Valparaíso, Metropolitana, de O'Higgins y del Biobío, además cuenta con un emplazamiento en el extranjero específicamente en Guayaquil, Ecuador.

En este marco de docencia existen diversos planteles que imparten carreras similares, por ello es fundamental mantener la competitividad y el reconocimiento de la Universidad, en este sentido la Universidad se encuentra constantemente expandiéndose e innovando en sus áreas de especialidad. En particular la carrera de Ingeniería Civil Mecánica, en el año 2009, extiende sus actividades académicas hacia la Región Metropolitana, específicamente en su Campus San Joaquín, como respuesta a la creciente demanda en Casa Central.

Con el objetivo de desarrollar una formación integral para sus ingenieros, la universidad busca impartir actividades prácticas en donde se apliquen los conocimientos aprendidos en las cátedras teóricas, es por esta razón que en el Campus San Joaquín la carrera Ingeniería Civil Mecánica cuenta con Laboratorios y Talleres, como por ejemplo laboratorio de Tecnología Mecánica, laboratorio de Mediciones, de Automatización, Taller de Metalmecánica, entre otros.

Específicamente el Taller de Metalmecánica, es un emplazamiento donde se desarrollan actividades prácticas por parte de los alumnos propias de una Maestría, es decir, se simulan procesos productivos de mecanizado por arranque de viruta y de ensamble metálico, para esto se cuenta con equipos y máquinas herramientas necesarias para realizar dichas labores. Estas actividades representan un riesgo importante para la integridad física del alumno debido al escaso conocimiento práctico previo a la realización de las tareas, lo que se traduce en un riesgo para la Universidad, ya que cualquier accidente ocurrido dentro del Taller puede tener repercusiones

negativas sobre el prestigio de ésta, por lo tanto, es fundamental controlar los riesgos asociados a los procesos desarrollados en las actividades prácticas.

Para ello es fundamental definir un plan de trabajo que involucre el estudio de las máquinas en planta, posteriormente investigar temas relacionados con tipos y tácticas de mantenimiento y modelos de jerarquización de activos. Luego se debe determinar el contexto operacional del taller, por lo que es necesario definir el marco interno y externo en el que se desarrollan las actividades y además se establece la situación en la que se encuentran actualmente las máquinas. Esta información se utiliza para seleccionar la táctica de mantenimiento adecuada, mediante la evaluación de diferentes aspectos entregados por el contexto operacional y a continuación se selecciona el modelo de definición de criticidad de los activos en planta. Finalmente, una vez jerarquizados los activos, se entrega una base para gestionar el mantenimiento sobre los activos definidos como críticos y semicríticos.

## Descripción del Problema

El departamento de Ingeniería Civil Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María dentro de sus instalaciones en Campus San Joaquín cuenta con un Taller de Metalmecánica que se ha implementado el año 2010. Éste funciona todos los días de la semana, en diferentes turnos, representando una ocupación en promedio de 28 horas a la semana por alumnos.

Hasta la fecha, ya pasados aproximadamente 7 años desde la implementación, no se ha gestionado el Mantenimiento de los activos en planta, en su mayoría herramientas para procesos de mecanizado por arranque de viruta. Es así como en casi la totalidad de ocasiones se repara cuando un elemento falla y esto genera una falla de tipo funcional del equipo, es decir se realiza un mantenimiento correctivo, el cual no asegura disponibilidad de los equipos, aumenta los costos de mantenimiento y aumenta el riesgo hacia los alumnos y funcionarios del emplazamiento.

A pesar de la baja ocupación semanal que posee el taller, no se revisa el estado de los equipos, así como tampoco se realizan inspecciones periódicas de componentes críticos de las máquinas, por lo cual se desconoce la condición actual de las máquinas, a pesar de esto, existen ciertos casos donde se realiza mantención predictiva, pero de manera bastante elemental, en donde los apoyos académicos, debido a su experiencia notan algún síntoma particular en la máquina, ya sean ruidos, vibraciones, desbalanceo en la rotación del eje, etc. y contactan al encargado de mantención, quien es una persona externa a la planta. Lo que deja en claro que si bien se realiza mantenimiento predictivo éste no se hace con las herramientas adecuadas.

Un segundo problema que se identifica en el establecimiento, es que el Taller no cuenta con un registro formal de las fallas de sus equipos. Los apoyos académicos tiene la noción de cuando ha ocurrido un evento en su área en particular, la cual es informada al Jefe de Taller vía correo electrónico para así gestionar las reparaciones.

Finalmente se identifica un problema de gestión del mantenimiento, ya que no se cuenta con un sistema de administración del trabajo, así como tampoco se utilizan

ordenes de trabajo para registrar las tareas de mantenimiento que han sido desarrolladas, por lo que se reconoce por parte de los trabajadores del lugar, que existe cierta confusión al momento de realizar tareas preventivas básicas, ya que se desconoce en cual máquina ha sido realizado un trabajo y en cual no.

Es por estas tres razones, que mediante la propuesta de un plan de gestión de mantenimiento se pretende:

- Asegurar disponibilidad operacional de los equipos para impartir cátedras de manera regular
- Controlar los riesgos que representen impacto en la integridad física y medioambientales
- Mantener supervisión de los activos

## **Objetivos**

Para el desarrollo de este trabajo de título se presenta primero el objetivo global y posteriormente los objetivos específicos.

### **Objetivo General**

Proponer un sistema de gestión de mantenimiento en el Taller Metalmecánico, para disminuir el riesgo asociado a los procesos productivos y asegurar disponibilidad de equipos.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar activos e infraestructura que comprende el taller.
- Realizar un análisis de la situación actual del mantenimiento, en base al diagnóstico del perfil de mantenimiento e historial de falla de equipos.
- Definir estrategia de mantenimiento adecuada, en base a los requisitos de cada equipo
- Analizar criticidad de equipos, en base a aplicación de modelos de criticidad, evaluando contexto operacional.
- Elaborar un proceso de administración del trabajo de mantenimiento, en relación a indicadores de funcionamiento específicos.
- Levantar un plan matriz a 5 años con los activos definidos como críticos para asegurar la disminución del riesgo asociado a los procesos productivos.

# **Capítulo 1**

## **1 Metodología de Trabajo**

Para la consecución de los objetivos es necesario definir un plan de trabajo (Ver Figura 1-1) que involucre primero la comprensión de las máquinas herramientas que se encuentran en el taller, posteriormente investigar temas relacionados con la Gestión de Mantenimiento y Modelos de definición de criticidad.

A continuación realizar un estudio de la situación en la cual se encuentra el taller y analizar la factibilidad en la aplicación de tácticas de mantenimiento y modelos de definición de criticidad evaluando criterios extraídos del contexto operacional, para finalmente, elaborar un sistema de Gestión de Mantenimiento que contenga las tareas de Mantenimiento, sistema de administración del trabajo y una propuesta de Plan Matriz para los activos definidos como críticos.

### **1.1. Marco Teórico y Estado del Arte**

Primero es necesario conocer los procesos y los equipos o máquinas herramientas que se utilizan para desarrollar dichas actividades. Además dentro de esta sección se definen los conceptos relacionados con la gestión de mantenimiento, como lo son tipos y estrategias de mantenimiento para así tener una visión clara de lo que resulta efectivo aplicar.

Finalmente siguiendo con el lineamiento de los objetivos específicos es necesario identificar ciertos modelos de definición de criticidad para analizar cual resulta conveniente aplicar dado el contexto operacional del taller.

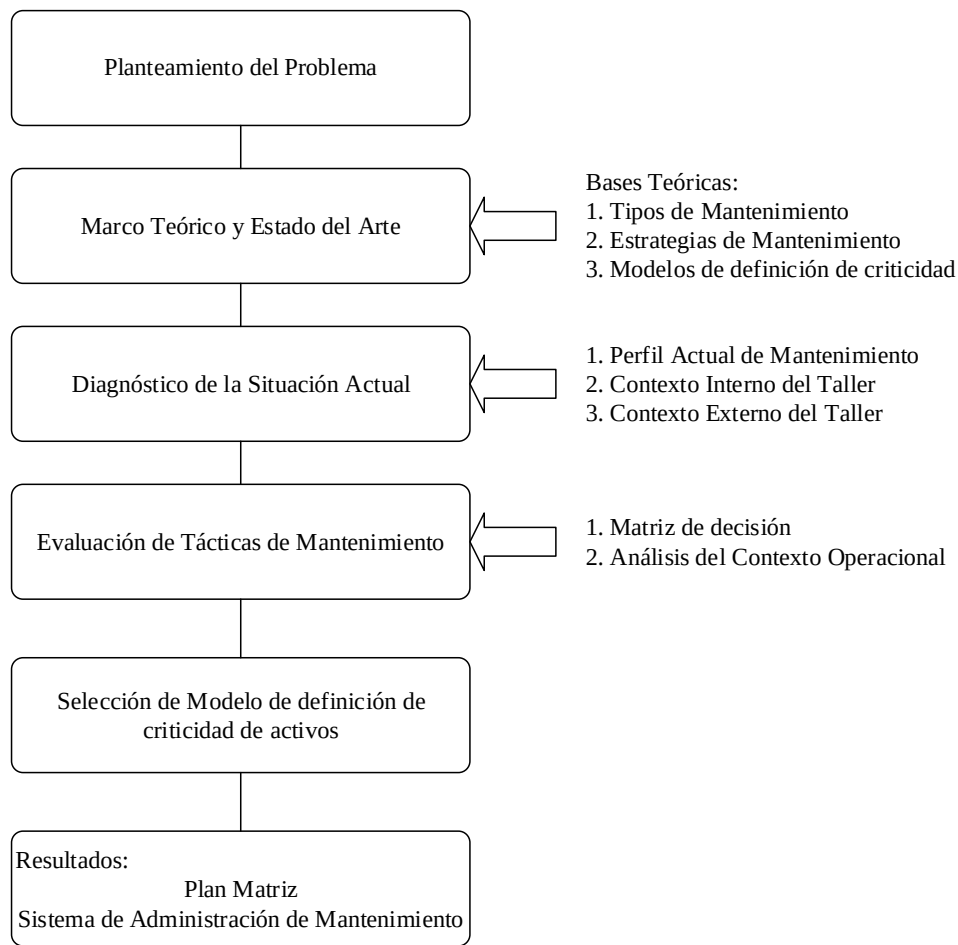


**Figura 1-1:** Diagrama de Flujo de Metodología de Trabajo para la consecución del Objetivo general  
**Fuente:** Elaboración Propia

## 1.2. Diagnóstico de la situación Actual del Taller

Se debe realizar un análisis del perfil de Mantenimiento que presenta actualmente el taller, en base a las tareas que ya han sido desarrolladas en los equipos (ya sean preventivas o correctivas) y se debe determinar el historial de falla que presentan los activos dentro del emplazamiento.

Además resulta necesario establecer el contexto interno, en donde se desarrollan las actividades y externo en el cual se encuentra inserto el taller, con el objetivo de

precisar los principales criterios para evaluar tanto las estrategias de mantenimiento aplicables dentro del taller, como los modelos de criticidad.

### **1.3. Selección de Táctica de Mantenimiento**

Se debe seleccionar la táctica de Mantenimiento que mejor se ajusta según los factores determinados por el contexto operacional del taller. Este proceso se realiza mediante la utilización de la herramienta Matriz de decisión empleando criterios absolutos para exponer si existe relación entre la táctica y el factor determinado.

### **1.4. Definición de Criticidad de Activos**

Es necesario determinar que activos se deben mantener, por ende es necesario jerarquizarlos según importancia dentro de los procesos realizados, para esto se debe seleccionar la herramienta adecuada acorde a la táctica seleccionada, esto se realizará mediante la utilización de la herramienta matriz de decisión utilizando criterios absolutos entre los modelos definidos y los factores definidos.

### **1.5. Resultados**

Luego de seleccionar la táctica adecuada se elabora el plan de mantenimiento para los activos definidos como críticos, con el objetivo de levantar un plan matriz de mantenimiento a 5 años considerando las tareas e intervalos para las actividades establecidas.

Además como sistema de gestión del trabajo, se debe elaborar una herramienta que permita identificar las tareas de mantenimiento que han sido realizadas sobre cada activo y así entregar una base sólida sobre el historial de falla de los equipos en taller.

## **1.6. Conclusiones**

Luego de la implementación de los resultados obtenidos, es necesario concluir acerca de la forma en que se lograron los objetivos específicos, además dejar planteadas algunas recomendaciones de modificación de los procesos realizados dentro del taller y proponer otros temas que resultan interesantes para investigaciones posteriores.

## **Capítulo 2**

### **2 Antecedentes**

Dentro de esta sección se realiza una breve reseña histórica de la Universidad, con el objetivo de entregar un primer acercamiento del marco institucional y académico en donde se encuentra inserto el taller metalmecánico de Campus San Joaquín.

#### **2.1 La Institución**

La Universidad Técnica Federico Santa María es una Fundación de Derecho Privado, con carácter de universidad particular, y forma parte de los 25 establecimientos tradicionales miembros del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, CRUCH.

Fundada en Valparaíso, el 27 de abril de 1926, al dictarse el Decreto Supremo N°996 del Ministerio de Justicia, por el que se concedió la personalidad jurídica a la “Fundación Federico Santa María”, de acuerdo a los estatutos presentados en escritura pública. Sin embargo no fue hasta mediados de 1930 adquiere por Decreto Supremo N° 3048 la calidad de Plantel de Educación Superior y pasa a llamarse Universidad Técnica Federico Santa María.

El primer Consejo Directivo de la Fundación se constituyó el 24 de mayo de 1929. En el mismo período llegó desde Alemania el primer Rector de la Escuela de Artes y Oficios, profesor Karl Laudien. Esto debido a la imposición de Federico Santa María Carrera en su testamento en donde dispuso que durante los diez primeros años los profesores debían ser extranjeros.

En el primer Consejo Directivo de la Institución realizado en el año 1929, en donde se propone la idea de realizar una ciudadela universitaria que considerase un conjunto de establecimientos, entre ellos pabellones, talleres, pensionados. La tarea estuvo a cargo de los arquitectos Josue Smith Solar y José Smith Miller, quienes levantan una obra ubicada en las faldas del Cerro Los Placeres, la cual fue inaugurada el 20 de diciembre de 1931. En el año 1932 se abren las puertas de la Escuela de Artes y Oficios y el Colegio de Ingenieros José Miguel Carrera, iniciándose las actividades académicas.

A partir de 1950, la Casa de Estudios termina de constituirse académicamente y se concretan las obras contempladas en el proyecto inicial. En 1960 se crea la Escuela de Graduados, fomentando la necesidad de perfeccionamiento y especialización en postgrados de sus profesionales.

Tras el paso de los años, el Plantel amplía sus carreras y se expande físicamente, diversificándose para dar respuesta a la creciente demanda de los años '70 de las especialidades de la Casa de Estudios. Con esto en el año 1969 en Sede Viña del Mar José Miguel Carrera, nace la Escuela Técnico Profesional, la cual en los años anteriores operaba en Campus Casa Central Valparaíso.

## **2.2 Misión Universidad Técnica Federico Santa María**

*“Crear y difundir nuevo conocimiento, y formar integralmente profesionales idóneos en el ámbito científico-tecnológico, para liderar el desarrollo del país y la humanidad”*

## **2.3 Visión Universidad Técnica Federico Santa María**

*“Ser un referente científico-tecnológico nacional e internacional, que convocando a una comunidad universitaria de excelencia, estimule la difusión del conocimiento y la creación de valor, en todas sus áreas de trabajo, siendo reconocida como Universidad Líder en Ingeniería, Ciencia y Tecnología”*

## **2.4 Campus San Joaquín**

La Universidad con la finalidad de expandir sus horizontes académicos y afianzar la presencia en la capital, en el año 1995 se crea el campus Santiago emplazado en la comuna de Las Condes, con las carreras del área de administración e Informática.

A contar de 2008 se construyen nuevas instalaciones en la comuna de San Joaquín, lo que permitió la apertura de nuevas carreras. En marzo de 2009 se inaugura el Campus Santiago San Joaquín, emplazado en una superficie de 43.800 metros cuadrados y con 14.500 metros cuadrados construidos, inicialmente imparte las carreras más tradicionales de la Ingeniería como son: Ingeniería Civil en Obras Civiles, Mecánica, Eléctrica, Química además de Informática quienes se trasladan desde el Campus Vitacura.

En pos de la expansión y la formación de profesionales de excelencia para el desarrollo del país, en el año 2012 se comienza a impartir la carrera de Ingeniería Civil de Minas y se inicia un plan maestro para ampliar el campus, lo que generó la construcción de un edificio de 16.000 metros cuadrados, cuya obra comenzó en Julio de 2013.

En este contexto que la carrera de Ingeniería Civil Mecánica imparte sus clases de manera regular, contando con Laboratorios de Automatización y Mediciones, Termofluidos, Laboratorio de Tecnología Mecánica, Mecánica Computacional y un Taller Metalmecánico emplazado en una superficie de 338 metros cuadrados.

## Capítulo 3

### 3 Marco Teórico

En este capítulo se describen los elementos necesarios para lograr una correcta comprensión de los temas discutidos en este trabajo de título. En él se definen principalmente las máquinas utilizadas dentro del Taller, los Tipos y Estrategias de Mantenimiento y algunos modelos de análisis de criticidad de equipos aplicables acorde al contexto operacional.

#### 3.1 Activos que comprende el Taller

Dentro de un Taller Metalmecánico se encuentran herramientas y activos necesarios para realizar procesos de trabajo en el metal por arranque de viruta, tales como aserrado, taladrado, torneado, fresado y rectificado y procesos de ensamble como Soldadura.

Para la mayoría de los procesos anteriormente descritos se utilizan máquinas-herramientas, las cuales de modo manual, semiautomático o automático, producen piezas en la forma deseada mediante la ayuda de herramientas de corte. Al tratarse de máquinas de precisión las principales exigencias que tienen éstas son [1]:

- Exactitud en la fabricación: Exactitud en los elementos constructivos de la máquina
- Exactitud en el trabajo: Determina la exactitud de las piezas fabricadas, por ejemplo tolerancias
- Seguridad de funcionamiento: Las perturbaciones en el funcionamiento perjudican el trabajo

- Protección en el trabajo: Que salvaguarde a los operarios contra accidentes y otro tipo de daños

Para conservar los aspectos mencionados, las máquinas deben limpiarse con frecuencia, engrasarse de acuerdo con un programa establecido, los asientos y las guías deben ajustarse acorde al tiempo de funcionamiento, se deben proteger las guías contra las virutas, debido a que produce desgastes excesivos.

### **3.1.1 Fresadora**

La fresadora es la máquina encargada de mecanizar cuerpos de geometría prismática; a diferencia del torno, que trabaja en el plano, la fresadora trabaja en el espacio. En esta máquina son las herramientas las que reciben el movimiento de rotación y la pieza recibe el movimiento de traslación a través de los carros [2].

La máquina tiene tres carros o ejes. El carro longitudinal, llamado también eje **X**, es el eje de mayor recorrido y es en su mesa donde se fijan las piezas a mecanizar a través de mordazas o con elementos de sujeción. El carro transversal o eje **Y**, cuyo desplazamiento es perpendicular al eje **X**, y está apoyado y fijado sobre el carro longitudinal. Finalmente el carro vertical, llamado eje **Z**, es el eje que determina la profundidad de penetración de la herramienta en la pieza, es decir la profundidad de corte [2]. Los carros se pueden desplazar de forma manual a través de manivelas y de forma automática a través de la caja de avances.

Los principales elementos de la fresadora son Caja de Cambios (Caja de Velocidades), Cajas de avances, Cabezal, Eje portaherramientas, Ménsula y Mesa de Trabajo.

Existen diversas clasificaciones de las fresadoras las cuales se complementan, pero las comúnmente utilizadas son acordes al número de ejes en donde se reconocen de tres ejes, en las cuales existe movimiento horizontal, vertical y oblicuo. De cuatro ejes en donde se cumplen las mismas funciones de la anterior, pero se añade la posibilidad de rotación de la pieza a mecanizar. De cinco ejes, la cual cumple con todas las funciones anteriores pero la pieza gira sobre dos de sus ejes, uno perpendicular al

husillo y el otro paralelo. Otra clasificación es por la orientación del eje de giro, dentro de lo que se encuentra la Fresadora Horizontal, Fresadora Vertical y Fresadora Universal.



**Figura 3-1:** Fresadora Vertical de 3 ejes

**Fuente:** Gómez, S (2006) [2]

### 3.1.2 Torno

Se denomina torno a una máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica de revolución (cilindros, conos, hélices). Estas máquinas operan haciendo girar la pieza a mecanizar mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento de avance contra la superficie de la pieza, cortando las partes sobrantes en forma de viruta [3].

Existen dos movimientos principales en el torno, los cuales son de avance que se ejecuta normalmente paralelo a la pieza y el movimiento de penetración que es perpendicular al movimiento anterior y es quien determina la profundidad de viruta a extraer.

El torno generalmente está compuesto de un cabezal fijo, el cual está encargado de determinar la velocidad de rotación de la pieza mediante un conjunto de engranajes,

además contiene la caja de velocidad de avance automático la cual entrega la velocidad de avance del carro portaherramientas para el mecanizado de la pieza.

Otro componente del torno es el cabezal móvil, el cual se utiliza como apoyo para las piezas a torneear en uno de los extremos y así poder entregarle sujeción en dos puntos para la estabilidad en el mecanizado.

Finalmente el carro portaherramientas, el cual consta de otros dos carros, longitudinal que produce el movimiento de avance de la herramienta y el transversal que determina la profundidad de penetración del mecanizado. En los tornos paralelos además existe un carro orientable, el cual rota sobre su base en cualquier ángulo para darle la orientación a la herramienta de corte.



**Figura 3-2:** Torno Paralelo Shenyang

**Fuente:** Imat Ltda. [4]

### 3.1.3 Soldadora por Arco Manual

El sistema de soldadura por Arco Manual, se define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir (Ver Figura 3-3)

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura. El revestimiento cumple tres funciones principales, la primera es producir gases para evitar la contaminación atmosférica, producir escoria para proteger el metal ya depositado y suministrar materiales desoxidantes [5].

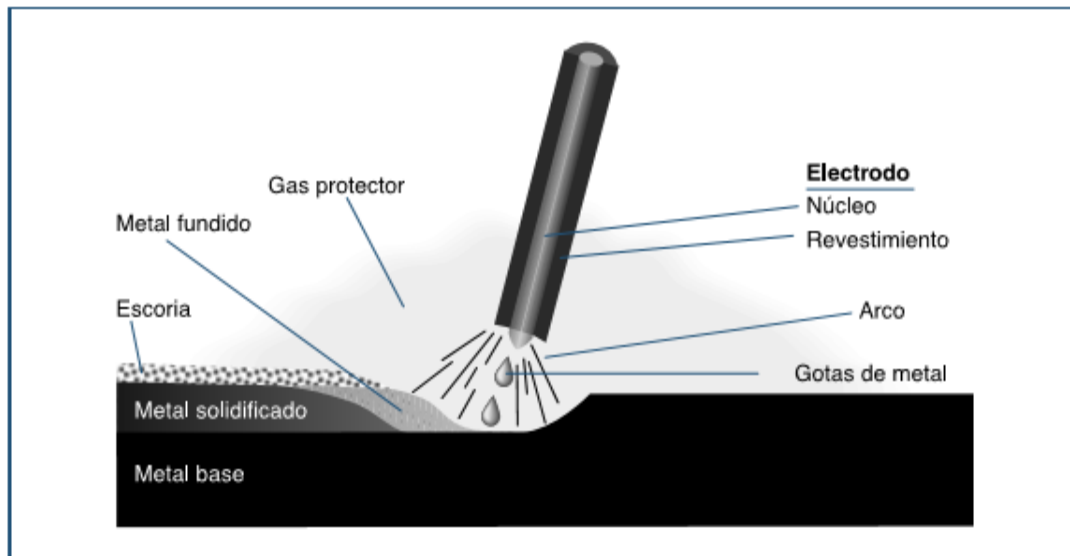


**Figura 3-3:** Esquema del Proceso de Soldadura

**Fuente:** INDURA S.A. [5]

La fuente de energía para soldar proviene de una máquina de corriente continua o de corriente alterna, la cual forma un circuito eléctrico a través de los cables conductores, del electrodo a la pieza. Dicho circuito se cierra al producirse el contacto entre el electrodo y la pieza. El arco formado es la parte donde el circuito encuentra menor resistencia y es el punto donde se genera la fuente de calor por medio de la cual se provoca la fusión del material [6].

### 3.1.4 Esmeril

En el proceso de esmerilar se utilizan como herramientas cuerpos abrasivos (por ejemplo, muelas de esmeril o piedras de afilar) que están compuestas por muchos y duros granos abrasivos unidos entre sí por medio de un material aglutinante. Cada grano actúa como una herramienta cortante, es decir penetra en el material y arranca virutas muy finas en forma de polvo [7].

Dentro de los procesos de esmerilado se encuentra el esmerilado longitudinal, en donde se necesita un avance de la pieza de manera longitudinal y un movimiento rotativo de la muela. Esmerilado sin puntas, en donde se esmerilan piezas lisas o cilíndricas sin sujeción especial para lo cual se utilizan dos muelas dotadas del mismo sentido de rotación pero de velocidades periféricas diferentes, por lo que la pieza recibe un movimiento de giro lento debido al frenado de la muela de avance.

Otro de los procesos de esmerilados es el afilado de herramientas, en el cual se necesitan muelas especialmente formadas y máquinas afiladoras, en donde se conduce la herramienta a afilar ya sea de forma manual o mecánica por medio de un montaje adecuado.



**Figura 3-4:** Esmeril de Banco para afilado de Herramientas

**Fuente:** Imvadem S.A. [8]

### 3.1.5 Limado de Metal

Es la operación manual en la cual se remueven con limas pequeñas cantidades de metal, con el objetivo de dimensionar la pieza. El proceso se realiza en dos pasos principales, desbastado que se puede exponer cómo el limado grueso o profundo en donde se trabaja con limas bastardas (Ver Figura 3-5) las cuales desprenden bastante material. Un segundo proceso es el acabado, en donde se trabaja con limas más finas, desprenden poco material y dejan la superficie con una superficie regular sin huellas [9].

La lima es una varilla de acero templado de distintas secciones transversales, que posee estrías en cada cara que cumplen la función de pulir metales y otros materiales. Las partes principales son el cuerpo, la punta y la espiga.

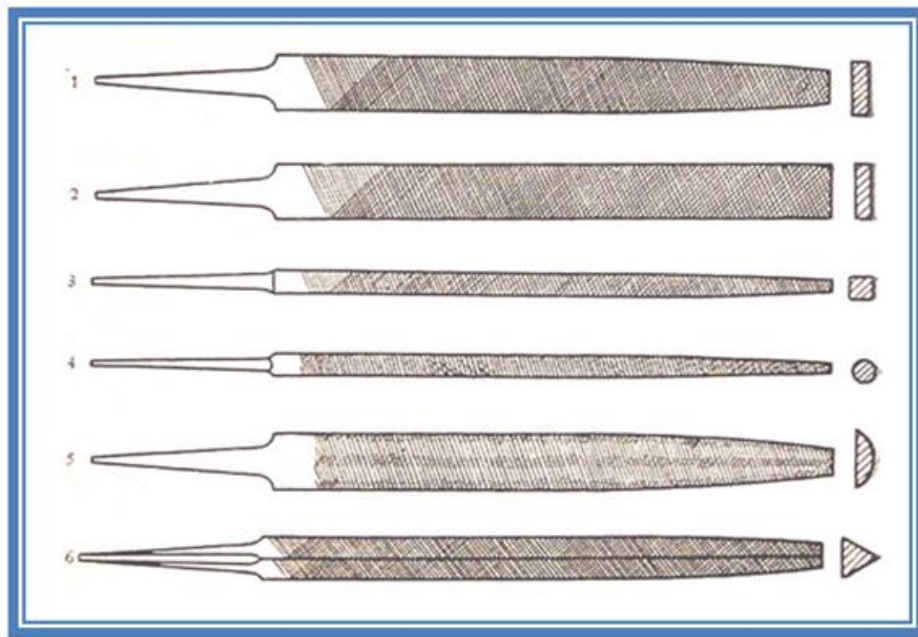


**Figura 3-5:** Limas Bastardas de Diferentes secciones transversales

**Fuente:** Tecnología Técnica [10]

### **3.1.6 Taladro**

Según [7] se entiende por taladrado un procedimiento de trabajo con arranque de viruta para la obtención de agujeros redondos. Estos pueden obtenerse por medio de taladrado en el material macizo o bien taladrando en un agujero dejado de fundición.

Acorde a la forma, tamaño, posición y exigencias se emplean diferentes tipos de máquinas taladradoras. Se distinguen por ejemplo:

- Según la forma del armazón: Máquinas taladradoras de columna, de sobremesa, de montante, radiales y en serie.
- Según el número de husillos: Taladros de un husillo o de varios husillos
- Según la posición del husillo: Taladradoras verticales y taladradoras horizontales

### **3.1.7 Soldadora MIG**

Proceso de Soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, la protección del arco se obtiene de un gas inerte suministrado de forma externa, el cual protege el metal líquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. Normalmente el gas utilizado en este proceso es Argón. [5]

En el sistema MIG; un sistema de alimentación impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona en un ángulo adecuado. [5]

En Figura 3-6 se aprecia el esquema básico del proceso de soldadura MIG, en donde 1 representa la máquina de soldadura, 2 un alimentador que controla la velocidad de avance del alambre, 3 una pistola de soldar para dirigir el alambre, 4 el suministro de gas inerte protector, 5 un carrete de alambre de material de aporte.

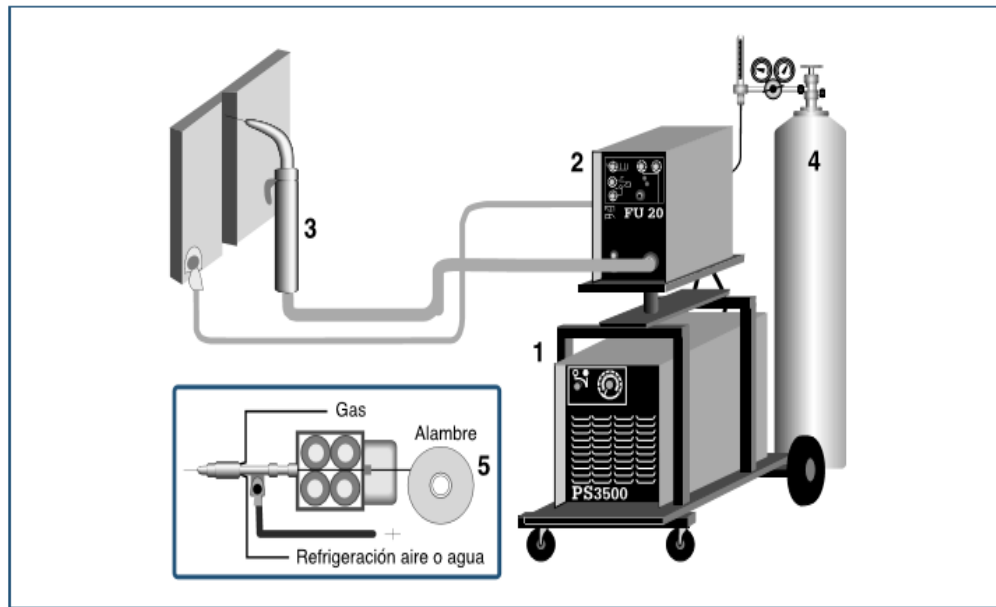


**Figura 3-6:** Esquema Básico de Soldadura MIG

**Fuente:** Indura S.A. [5]

### 3.1.8 Rectificadora

El proceso de rectificado utiliza una herramienta abrasiva (Muela) y se lleva a cabo en una máquina llamada Rectificadora. Utiliza el mismo principio del Esmerilado de metal, en donde cada grano abrasivo está encargado de arrancar una pequeña cantidad de material de la pieza, de forma análoga a como lo haría un inserto cortante en una fresa.

Este proceso normalmente se realiza al final del proceso productivo, tras torneado o fresado, para mejorar la tolerancia y el acabado superficial del producto. [11]

Existen diversos tipos de rectificadoras entre ellas de rectificado plano (Ver Figura 3-7) que se utiliza para el acabado de superficies planas o perfiles en donde se puede obtener muchas veces superficies planas de modo más barato que por fresado o cepillado.

Otro tipo de rectificadora son las cilíndricas, las cuales se utilizan para darle acabado a superficies de revolución, en donde se pueden realizar movimientos a través de la pieza, análogo al movimiento de cilindrado en torno, o de penetración de la pieza.



**Figura 3-7:** Rectificadora Plana

**Fuente:** FAMA S.A. [12]

### **3.1.9 Sierra Horizontal de Huincha**

Es el corte de materiales con desprendimiento de viruta, con una herramienta de dientes múltiples llamada hoja de sierra, sostenida por el arco de la sierra. La hoja de sierra es una lámina o fleje de acero con dientes triangulares, y en ambos extremos tiene dos agujeros por los cuales se sujeta al arco de sierra.

Existen diversos tipos de hojas dependiendo del trabajo solicitado, pero en la generalidad se cumple que son de acero duro o aleado, los dientes están templados y los dientes están doblados alternadamente de izquierda a derecha, para que el surco resulte más ancho que el espesor de la sierra. [13]



**Figura 3-8:** Sierra Horizontal de Huincha

**Fuente:** TecnoMaquinaria S.A. [14]

### **3.2 Tipos de Mantenimiento**

Todos los sistemas productivos compuestos por máquinas están sujetos a deterioro con la utilización y la vida útil de los componentes. Por lo tanto, los problemas de reparación, mantenimiento y reemplazo de un sistema completo o subsistema son tema de interés en toda empresa.

[15] plantea que aunque podrían establecerse diferentes clasificaciones de mantenimiento, acorde a las posibles funciones que se le atribuyan a éste, así como la forma de desempeñarlas, tradicionalmente se admite una clasificación basada más en un enfoque metodológico. Donde pueden distinguirse tres tipos de mantenimiento: Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo.

Cabe destacar que ninguno de los tipos anteriores se utiliza de forma exclusiva, ya que en base a la rentabilidad de las empresas, se busca practicar una combinación de los tipos anteriores, realizando lo que se ha denominado mantenimiento planificado.

### **3.2.1 Mantenimiento Correctivo**

En este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento a la falla, sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería [15].

A pesar de que por la descripción anterior pueda parecer una actitud despreocupada, se practica en gran cantidad de industrias principalmente en aquellos casos que existe un bajo costo de los componentes afectados y donde los equipos no están directamente relacionados con la producción [15].

Este enfoque del mantenimiento supone nula planeación sistemática, debido a que no se trata de un planteamiento organizado de tareas, por lo que considerar exclusivamente esta forma de mantenimiento para los sistemas industriales supone asumir algunos inconvenientes entre los que pueden citarse [15]:

- Las averías no se comportan según un patrón estándar, es decir éstas se producen de forma aleatoria, lo que puede generar retraso en la producción, que puede desencadenar en pequeños costos de ineficiencia hasta parada de planta debido al cambio de un equipo.
- Al ser imprevistas las averías suelen detectarse cuando son fallas funcionales en el equipo, lo que puede tener como consecuencia una costosa reparación.
- Las averías son siempre inoportunas, por lo que la reparación de los equipos dañados suele tomar más del tiempo previsto, debido a falta de preparación, ausencia de personal idóneo o falta de repuestos.
- Al tratarse de averías inesperadas, el fallo funcional puede desencadenar en un accidente, lo que obviamente genera consecuencias negativas a la seguridad del personal.

### **3.2.2 Mantenimiento Preventivo**

La finalidad última del mantenimiento industrial es asegurar la disponibilidad de equipos e instalaciones industriales, para obtener un rendimiento óptimo sobre la inversión, ya sea de los sistemas de producción, como de los equipos y recurso destinados al mantenimiento [15].

El mantenimiento preventivo supone un paso para alcanzar esta meta, ya que pretende disminuir o evitar, en cierta medida, la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas en donde se procede al desmontaje total o parcial de la máquina con el fin de revisar el estado de sus elementos, reemplazando aquellos que se estime oportuno a la vista del examen realizado.

El éxito de este tipo de mantenimiento depende de la planificación realizada, es decir la correcta elección del período de inspección. Un período demasiado largo conlleva al peligro de la aparición de fallos indeseados entre dos inspecciones consecutivas y un período demasiado corto encarece considerablemente los costos de mantención.

El inconveniente que presenta la aplicación exclusiva de este tipo de mantenimiento es el coste de las inspecciones, debido a la acción de desmontar una máquina que está funcionando correctamente o el reemplazo de un componente que aún se encuentra en buen estado. Además de lo dicho, sea cual sea el período fijado no elimina del todo la aparición de averías indeseadas. Otros inconvenientes presentados por [16] son la necesidad de un sistema de soporte de decisiones como la data histórica necesaria para asignar los períodos de reparación o la inexactitud que se presenta al establecer el tiempo de acción, especialmente cuando la desviación estándar es grande.

### **3.2.3 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales de mantenimiento. La base de esta filosofía de

mantenimiento es conocer el estado de los equipos mediante distintas técnicas empleadas, de esta manera es posible reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentran en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y en segundo lugar evitar las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía.

La aplicación del mantenimiento predictivo utiliza como base dos pilares fundamentales, primero la existencia de un parámetros funcionales que indiquen el estado del equipo y segundo el control constante de los equipos.

Como desventaja que presenta este método se pueden citar [15]:

- Que el defecto se produzca en el intervalo de tiempo entre dos inspecciones consecutivas
- Que el defecto no sea detectado con la medición y posterior análisis de los parámetros establecidos como referencia
- Que, aun siendo detectado un defecto, éste no sea diagnosticado correctamente o comprendido en toda su gravedad
- Que, aun habiendo realizado un diagnóstico correcto, no sea posible programar la detención de la máquina en el momento oportuno, por lo que se asume la falla funcional

### **3.3 Tácticas de Mantenimiento**

Existen diversas estrategias de mantenimiento, las cuales se diferencian principalmente en las técnicas que desarrolla cada una de ellas para lograr su objetivo. Cabe señalar que no existe una misma estrategia de mantenimiento que se ajuste de manera idónea a los requerimientos de todos los procesos productivos en conjunto, sino que depende de cada caso en particular, ya que existen diversos factores que inciden en la selección de ésta, como lo son, ámbito operacional del activo, seguridad ambiental y de los trabajadores, costos de mantención, frecuencia de fallas, inventario de repuestos, entre otros. Las estrategias ponderan de distinta manera cada uno de los

aspectos mencionados, ya que en ocasiones se puede enfocar en minimizar los costos de mantención o en aumentar la seguridad de los operarios de las herramientas.

Cada enfoque del mantenimiento usa diferentes fuentes de información en su proceso de toma de decisiones, tales como [16]:

- a) Datos de falla obtenidos desde el registro histórico, banco de datos, etc.
- b) Experiencia operacional, por ejemplo datos y conocimientos obtenidos del contexto de trabajo
- c) Métodos de análisis, por ejemplos, diagramas de Ishikawa y Pareto, Análisis de modo de Falla, efecto y criticidad (**FMECA**), y árbol de fallas (**FTA**)
- d) Información del monitoreo de condiciones, acerca del equipo o componente durante el intervalo de operación normal, etapas tempranas de la iniciación de la falla y de desarrollo justo antes de la falla.
- e) Diagnóstico en base al Monitoreo de condiciones y pronóstico de condición de equipos o componentes, condición operacional, métodos de manufactura, etc.
- f) Información acerca de los programas de control de calidad, los cuales entregan datos acerca de desviaciones de calidad tempranas, efectos ambientales del sistema de manufactura, etc.

### **3.3.1 Mantenimiento Basado en Monitoreo de Condiciones**

El Mantenimiento basado en monitoreo de condiciones es una filosofía de administración que posiciona la decisión de reparación o reemplazo en las condiciones actuales o futuras de una máquina [17].

Dado que la mayoría de los sistemas tienen cierta tolerancia de funcionamiento existirá un período de tiempo durante el cual se está generando (o se ha generado) una falla, donde el funcionamiento del activo continúa siendo aceptable. El monitoreo de condiciones está destinado a sistemas donde existe una tendencia de falla, normalmente es aplicado a un elemento en particular [18]. Dentro de esto [19] plantea que la

estrategia de **CBM** consiste en tres pasos principales (Ver Figura 3-9): adquisición de datos, procesamiento de datos y toma de decisiones de mantenimiento.



**Figura 3-9:** Arquitectura de la Metodología utilizada en CBM

**Fuente:** Jardine (2006) [19]

Las condiciones medibles para su análisis son variadas, dentro de esto [20] identifica cinco categorías, las cuales son: efectos dinámicos (tales como vibraciones), partículas liberadas al ambiente, químicos liberados al ambiente, efectos físicos (tales como fracturas), aumento de temperatura en el equipo y efectos eléctricos (tales como resistencias o conducción de corriente).

### 3.3.2 Reemplazo a Tiempo Constante

Se basa en el Mantenimiento Preventivo de los componentes y tiene como finalidad aumentar la disponibilidad de los activos industriales a través de la disminución de las paradas no programadas. Si la planificación es adecuada, es posible reducir altamente los costos de mantenimiento, sin embargo, si no se realiza un análisis técnico económico adecuado y se aplica esta estrategia de forma deliberada, puede incrementar sustancialmente los gastos de mantenimiento sin obtener a cambio mejoras en la confiabilidad.

El mantenimiento cíclico, es un tipo de mantenimiento planificado que incluye intervenciones programadas para la reparación del ítem o el cambio de sus componentes a intervalos fijos, sin importar su estado de condición al momento de realizar la tarea, a pesar de ello, es fundamental conocer la condición de la pieza, dado que permite optimizar el tiempo de intervenciones.

Para que la Estrategia de Mantenimiento de Reemplazo a Edad Constante sea aplicable, los equipos así como el sistema productivo deben cumplir ciertas condiciones [21]:

- La primera hipótesis que se debe formular es comprobar que la mayoría de las veces, el componente fallará después de un tiempo  $t_{MP}$ , lo que significa que obedece a un patrón de fallas, ajustado a un período de Vida Útil. A partir de este período existe un acelerado crecimiento de la tasa de falla.
- La Vida Útil para todos los componentes de iguales características deben ser muy parecidas, es decir su dispersión es muy baja, así la diferencia entre  $t_{MP}$  y su tiempo medio entre fallas característico es muy pequeña.
- La mayoría de los elementos probados se mantienen sin fallas durante su etapa de Vida Útil.
- La intervención reestablece totalmente la condición básica inicial del ítem, es decir después de la reparación el componente queda tan bueno como si fuera nuevo.

### **3.3.3 Mantenimiento Productivo Total**

El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de “mantenimiento preventivo” creado en la industria de Estados Unidos. Considera actividades productivas y de mantenimiento realizadas por los trabajadores de una organización [22]. Esta estrategia involucra a todos los departamentos y a todo el personal desde operadores hasta la dirección, y los une como un equipo cooperativo para optimizar las actividades de operación y mantenimiento [23].

El TPM tiene como propósito que los equipos operen sin averías y fallas, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada. Dentro de esto TPM busca eliminar las seis grandes pérdidas, las cuales son: Averías, Preparación y Ajuste, Paradas y tiempos muertos, velocidad reducida, defectos de calidad y arranque [22].

Se basa en ciertos procesos fundamentales, los cuales han sido llamados como “pilares”. Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado. Los pilares considerados como necesarios para el desarrollo del TPM en una organización son: Es un proceso de mejora continua basada en el ciclo Deming, se realiza mantenimiento autónomo, reconoce al mantenimiento como progresivo, dirige a un mantenimiento de calidad, reconoce en el diseño una posibilidad de prevención del mantenimiento, es necesario mantener las áreas administrativas y finalmente es fundamental el entrenamiento y desarrollo de habilidades de operación.

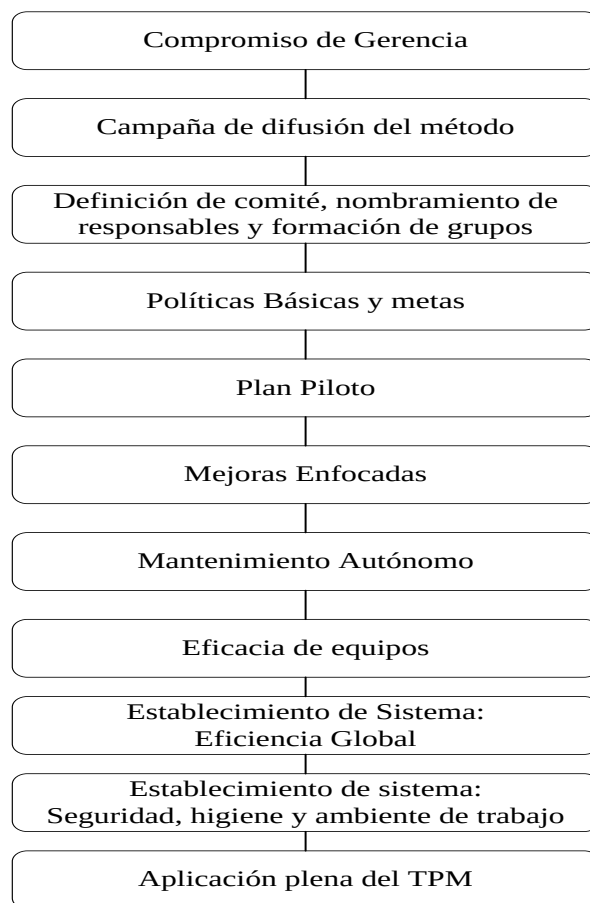


**Figura 3-10:** Metodología de Trabajo de TPM

**Fuente:** Nakajima (1992) [23]

### 3.3.4 Mantenimiento Basado en Riesgo

El objetivo general del proceso de Mantenimiento es hacer uso del conocimiento de las fallas y los accidentes para alcanzar la máxima seguridad posible al menor costo. El concepto de RBM fue desarrollado para inspeccionar los componentes que implican un alto riesgo, usualmente con alta frecuencia y efectividad y para mantenerlos de una mejor manera, para alcanzar un criterio de riesgo tolerable. [24].

La metodología de RBM entrega herramientas para la planificación del mantenimiento y toma de decisiones en pos de reducir la probabilidad de falla de los equipos y por consiguiente evitar las consecuencias de la falla. **William T. Fine** define el riesgo mediante (1):

$$\textbf{Riesgo} = \textbf{Consecuencia} \times \textbf{Exposición} \times \textbf{Probabilidad} \quad (1)$$

En donde identifica:

- **Consecuencia:** El daño, debido al riesgo que se considera, más grave dentro de lo posible, incluyendo accidentes personales como daños económicos o materiales.

- **Exposición:** Es la frecuencia con que se presenta la situación de riesgo, tal que al iniciarse un acontecimiento indeseado se inicia la secuencia del accidente

- **Probabilidad:** La posibilidad de que, una vez presentada la situación de riesgo, se origine el accidente.

La metodología de RBM (ver Figura 3-11) se centra en la evaluación del riesgo, ya sea de un proceso o de un activo para jerarquizarlo y enfocar las tareas de inspección o mantenimiento sobre los elementos críticos, posteriormente se reevalúa para asegurar que los riesgos están dentro de niveles tolerables.

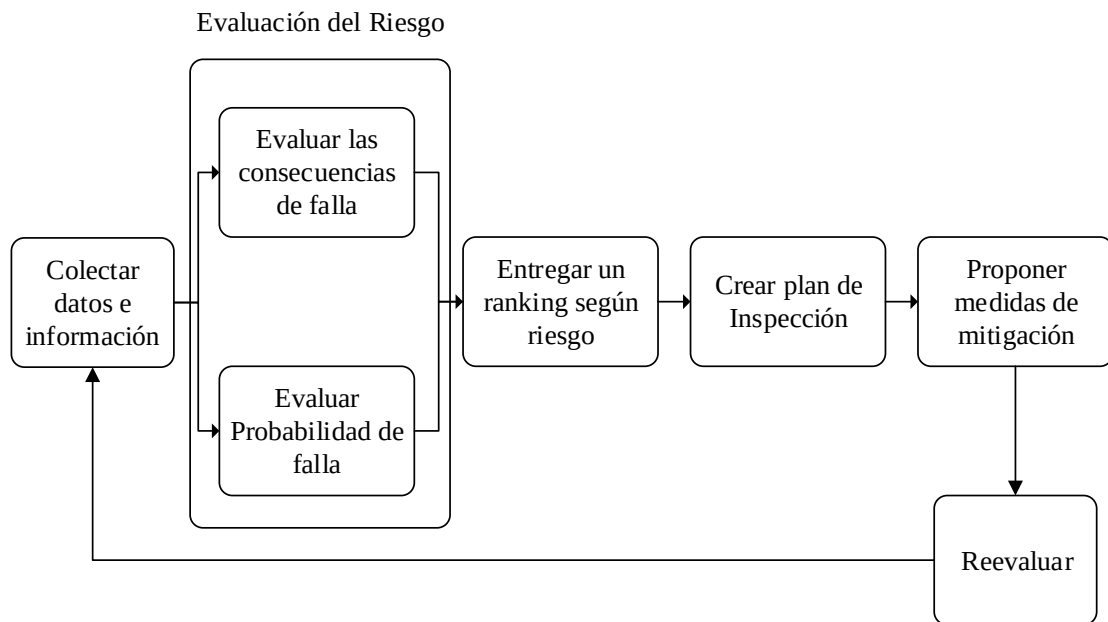


**Figura 3-11:** Procedimiento General de RBM

**Fuente:** Sakai (2010) [25]

### 3.3.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

RCM es una metodología estructurada para “determinar los requerimientos de mantención de cualquier activo físico en su contexto operacional” [20]. RCM nace cerca de 1970, mediante la revisión de las estrategias preventivas de mantenimiento en la industria aeronáutica comercial. RCM está desarrollado en base a dos conceptos principales [26]:

- No todas las fallas se producen de la misma forma. Esto es, que diferentes modos de falla pueden afectar a la función del sistema de manera diferente.

- Hay ciertas fallas que no se pueden prevenir mediante una revisión o una acción de reemplazo preventiva. La tasa de daño de un ítem con estas características de modo de falla no cambia con el tiempo.

La metodología de RCM (Ver Figura 3-12) usa una técnica sistemática para ponderar la criticidad de los modos de falla y entrega guías para la selección de tareas de mantenimiento preventivo que son más efectivas en preservar la función del sistema. A pesar de ello [27] ha reportado que RCM tiene ciertas dificultades en su implementación debido a la indisponibilidad de datos de falla de planta.

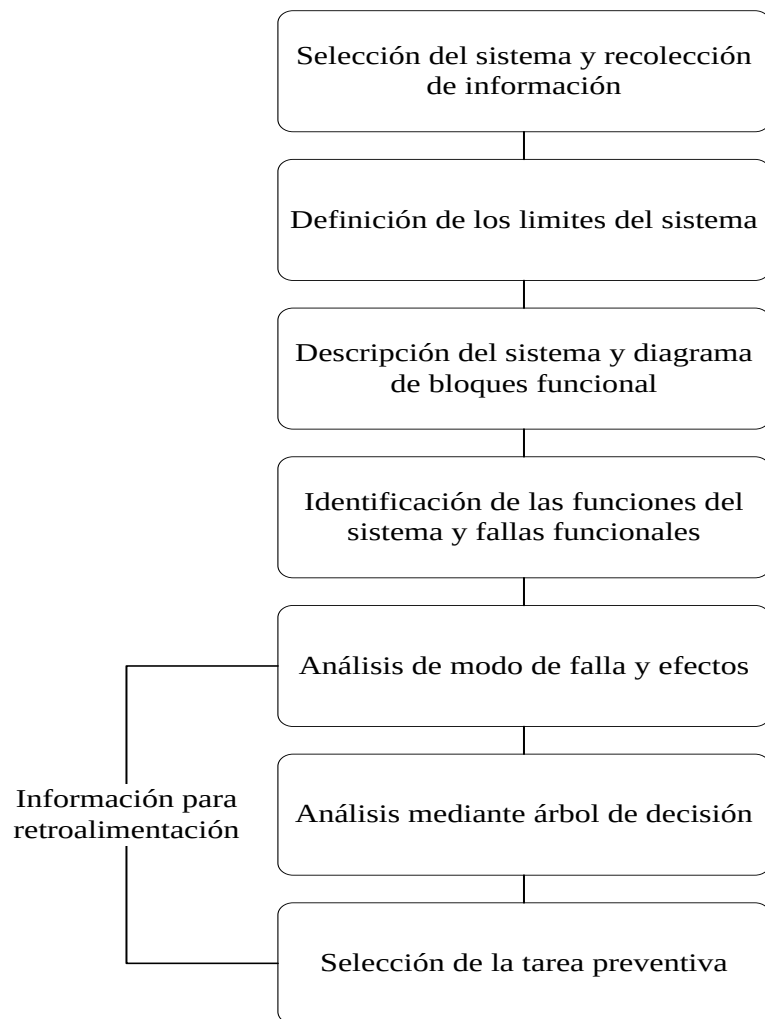


**Figura 3-12:** Estructura de la metodología utilizada en RCM

**Fuente:** Smith, 1993 [28]

### **3.4 Modelos de Evaluación de Criticidad**

Existen diferentes Modelos de evaluación de la criticidad de los equipos, los cuales se diferencian principalmente en la manera en la que definen los activos críticos. Dentro de estos encontramos, mediante impacto ya sea económico, social, medioambiental, sobre la integridad física de las personas, etc. mediante utilización de parámetros característicos de las máquinas, mediante la determinación de infraestructura crítica.

#### **3.4.1 Modelo de Evaluación de Criticidad por Riesgo**

En el marco de evaluación de criticidad mediante el riesgo se ha creado, en el año 2009 la norma ISO 31.000 que estandariza la gestión del riesgo, con lo cual se pretende consensuar las inconsistencias y ambigüedades que existen entre los enfoques y definición que puede tener una situación en particular.

Mientras que cada organización en particular trabaja de variadas formas para gestionar el riesgo, todas ellas tienen la misma meta, entregar una base sólida para la toma de decisiones y de ser posible obtener información de cómo lidiar con los riesgos, por ende existen muchas definiciones de riesgo y de los elementos para el proceso de gestión de riesgo y de las pautas a seguir para una correcta gestión.

Es por esta razón que, ISO, el cuerpo encargado de la estandarización, se dispone a alcanzar la confiabilidad en la gestión de riesgos, mediante la creación de un estándar que sea aplicable a todo tipo de riesgos. Esto contiene:

- a) Un vocabulario: La definición de todos los términos debe ser consistente con los procesos a los que se ajuste y viceversa, para asegurar que la guía de los estándares fuese coherente. Para ello ISO combinó la creación del estándar con una revisión del vocabulario existente en ISO/IEC para gestión del riesgo expuesta en la guía 73:2002.
- b) Un Conjunto de Criterios de Desempeño: Existen claros requerimientos de desempeño, que de ser seguidos, aseguran que el riesgo está siendo manejado

tanto efectiva como eficientemente. Los principios de una gestión del riesgo efectiva según ISO 31.000 son [29]:

- a) Crear y proteger el valor
- b) Ser una parte integral de todo proceso organizacional
- c) Ser parte de la toma de decisiones
- d) Abordar de manera explícita la incertidumbre
- e) Ser sistemático, estructurado y oportuno
- f) Estar basado en la mejor información disponible
- g) Ajustarse a la medida
- h) Tomar en cuenta el factor humano y cultural
- i) Ser transparente e inclusivo
- j) Ser dinámico, iterativo y sensible al cambio
- k) Facilitar la mejora continua de una organización

Un proceso común y global para identificar, analizar, evaluar y tratar los riesgos: ISO adopto el mismo modelo de la norma AS/NZS 4360:2004 para gestionar el riesgo (Ver Figura 3-13). Si bien el proceso puede parecer escalonado, en la práctica existe una comunicación entre cada paso. El proceso comienza a través de la definición de qué es lo que la organización quiere alcanzar y los factores internos y externos que pueden influir en obtener éxito en la consecución de los objetivos (Establecer el Contexto). Es fundamental definir de manera correcta el contexto interno debido a que la gestión del riesgo es parte de las metas y objetivos de la organización, además la política organizacional, las metas e intereses ayudan a definir la política de riesgos de la organización. Así también establecer el contexto externo es importante para asegurar que los objetivos de los “stakeholders” externos están siendo considerados al desarrollar un criterio de gestión del riesgo.

La etapa de Identificación del Riesgo requiere la aplicación de un proceso sistemático para entender que podría pasar, cómo, cuándo y por qué.

En ISO 31000, el análisis del riesgo se preocupa del desarrollo de una comprensión de cada riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de esas consecuencias. Si bien la norma no expresa una preferencia por un enfoque de gestión del riesgo cuantitativo o cualitativo, ya que ambos tienen un rol. Más bien, indicia que:

- La manera en que la consecuencia y su probabilidad son expresadas, y la manera en que son combinadas para determinar el nivel de riesgo, debe reflejar el tipo de riesgo, la información disponible y el propósito para el cual el resultado de la valoración del riesgo será usado.
- La confianza en la determinación del nivel de riesgo y su sensibilidad a precondiciones y suposiciones debe ser considerado en el análisis, y comunicar efectivamente a los “Stakeholders”.

El proceso de evaluación del riesgo implica tomar una decisión acerca del nivel del riesgo y la prioridad de atención a través de la aplicación del criterio que fue desarrollado cuando el contexto fue establecido.

Finalmente Tratamiento del riesgo es el proceso mediante el cual los controles existentes son mejorados o se desarrollan e implementan nuevos controles. Esto implica la evaluación y selección desde opciones, incluyendo análisis de costos y beneficios y establecer nuevos riesgos que pueden ser generados por cada opción, priorizando e implementando el tratamiento adecuado a través de un proceso planeado.

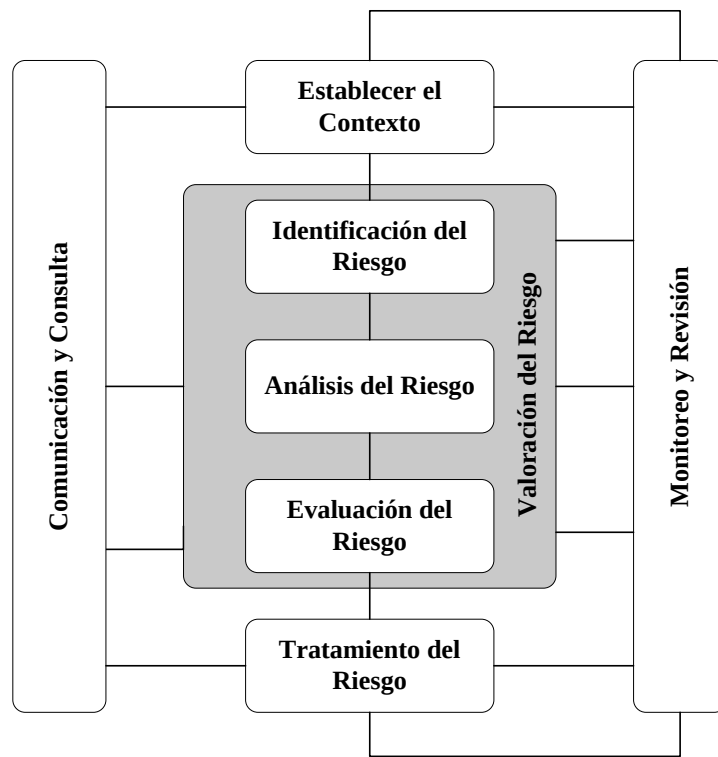


**Figura 3-13:** Proceso de Gestión de Riesgo según Norma ISO 31.000:2009

**Fuente:** Purdy (2010) [29]

Existen tres elementos del proceso que son transversales a éste, los cuales son:

- a) Comunicación y Consulta con “Stakeholders” internos y externos, donde sea factible, obtener sus objetivos, así sus puntos de vista son tomados en cuenta al establecer los criterios de riesgo.
- b) Monitoreo y Revisión, así al momento de la aparición de un nuevo riesgo se pueden tomar acciones correctas y de manera oportuna.
- c) Un marco de referencia para gestionar el riesgo: Uno de los temas recurrentes en ISO 31000 es que para ser efectivo, la gestión del riesgo debe ser integrada al proceso de toma de decisión de la organización.

Cada organización necesita diseñar o revisar los componentes de gestión del riesgo de su sistema de gestión para acomodar su proceso de negocios, estructura, perfil de riesgo y políticas y este es el propósito de un plan de gestión de riesgos.

### **3.4.2 Evaluación de Criticidad de Infraestructura**

Las instalaciones básicas y servicios necesarios para el funcionamiento de la organización, tales como canales de comunicación, agua, líneas de energía eléctrica, sistemas de alimentación de insumos, etc. son considerados como elementos que forman parte de la infraestructura de una planta.

Una metodología efectiva de identificación de activos de infraestructura críticos conjuga dos requerimientos: (i) requerimientos cualitativos y (ii) requerimientos cuantitativos [30].

Los requerimientos cualitativos son criterios blandos que son utilizados para desarrollar una metodología, como por ejemplo examinar cada activo relevante en un conjunto de dieciséis sectores de la infraestructura, en segundo lugar se debe considerar los resultados suficientes que permitan establecer una comparación entre dos activos de diferentes sectores, finalmente como requisito cualitativo se debe considerar la información que es utilizada y como ésta permite generar una estimación de la criticidad.

Los requerimientos cuantitativos, por otro lado, son criterios duros para desarrollar una definición de activos críticos, como por ejemplo el puntaje que se atribuye a cada elemento de la infraestructura, además sirve para establecer los criterios con los cuales se compara cada activo dentro de un sistema.

### **3.4.3 Ranking de Criticidad de Activos**

Existen muchas decisiones que deben ser tomadas para mejorar la confiabilidad de los activos las cuales requieren cierta priorización. El Ranking de Criticidad de activos es la combinación de tres elementos claves [31]:

- Consecuencias: Comprende la consecuencia de la falla, incluyendo el impacto en producción, seguridad, medio ambiente, calidad del producto y los costos de reemplazo o reparación.

- Confiabilidad: Indica la probabilidad que se desarrolle una falla que desencadene en una falla funcional tal que se experimentarán las consecuencias
- Detección: Que tan probable es que a tiempo la falla y por consiguiente evitar el fallo funcional y las consecuencias.

En un extremo se puede tener un activo que tiene una confiabilidad muy baja, sin la capacidad de detectar una falla inminente con consecuencias terribles si la falla llega a ocurrir, el cual representa un riesgo serio por lo que se debe prestar atención al activo y finalmente alcanzara un alto valor dentro del ranking.

Por lo tanto, en vez de tener un esquema de jerarquización de criticidad, que simplemente establezca a un activo es crítico, esencial o no esencial (o algún otro tipo de categorización), es importante desarrollar un sistema de puntaje numérico que permita tomar decisiones importantes.

En base al ranking existen ciertas acciones que pueden ser realizadas, primero se ha definido el puntaje correctamente y se ha hecho el jerarquización de activos acorde a ello, entonces el componente de mayor puntaje es el que tendrá mayor impacto en la empresa y por ende es donde se debe enfocar la atención.

En segundo lugar, si se graba la información de confiabilidad, detección y consecuencia entonces se tiene una valiosa fuente de información que se puede usar para la toma de decisiones. Los activos establecidos como críticos debido a baja confiabilidad serán objetivos para proyectos de mejora en la fiabilidad. Por otro lado los que se establecen como críticos por carencia de detección son idóneos para realizar monitoreo de condiciones.

#### **3.4.4 Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad (AMFEC)**

Es una técnica sistemática utilizando conocimiento ingenieril, confiabilidad y herramientas de desarrollo organizacional, en otras palabras utiliza equipos para optimizar el sistema, diseño, proceso, producto y/o servicio.

Existen diferentes versiones o variantes de la metodología de **AMFEC** según el estudio que se esté realizando, en este caso en particular donde se estudia máquinas y componentes el modelo que mejor se ajusta para elaborar un sistema de gestión de mantenimiento, consiste en los siguientes pasos (Ver Figura 3-14) [32]:

- Definición del diseño del Equipo o Sistema: Consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se opera, considerando tanto su diseño como las necesidades del usuario.
- Análisis funcional: Es necesario para poder entrar al proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe.
- Identificación de Modos de Falla: Un modo de falla se puede definir como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, o en otras palabras, la forma en que un activo falla.
- Efectos y consecuencias de la Falla: Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo. En el caso de las consecuencias, se refiere a los impactos derivados de la falla en los “Stakeholders”.
- Jerarquización del componente: Corresponde al proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de ocurrencia por sus consecuencias.

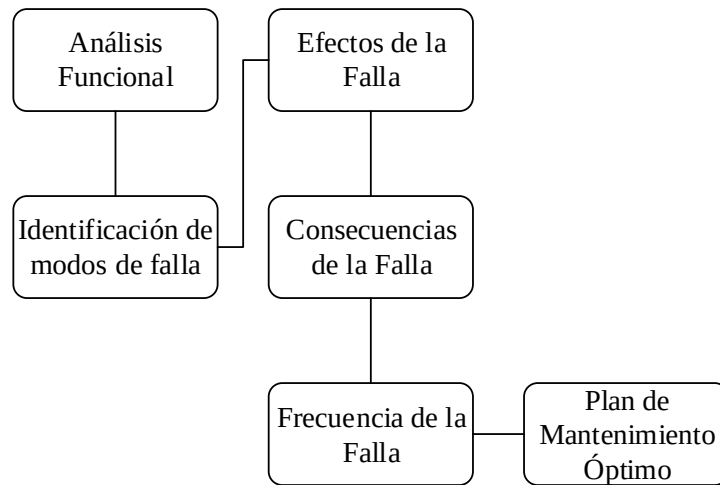


**Figura 3-14:** Proceso de Elaboración de Plan de Mantenimiento mediante Modo de Falla, Efecto y Criticidad

**Fuente:** Aguilar-Otero et. Al [32]

## Capítulo 4

### 4 Situación Actual del Taller Metalmecánico

La Institución cuenta con Laboratorios y Talleres fundamentales para la formación integral de los estudiantes, dentro de ese contexto el Departamento de Ingeniería Mecánica en Campus San Joaquín inaugura en agosto de 2010 el Taller Metalmecánico, emplazado en una superficie de 338 [ $m^2$ ] en cuyas dependencias se encuentran ciertos activos que son esenciales para realizar procesos de manufactura por arranque de Viruta y procesos de soldadura.

Dicho lugar está compuesto por diez Tornos de 3 [kW], un Torno de 7,5 kW, cinco Fresadoras de 4 [kW], Esmeriles de Pedestal, cuatro Taladros de Pedestal, diez máquinas de soldadura por arco eléctrico, cuatro máquinas de soldadura por método MIG/MAG, una rectificadora cilíndrica, una sierra horizontal y una rectificadora tangencial. La disposición física de los equipos se expone en Figura 4-1, donde se muestran principalmente las fresadoras y los tornos, dado que son los equipos de mayor envergadura dentro del taller.

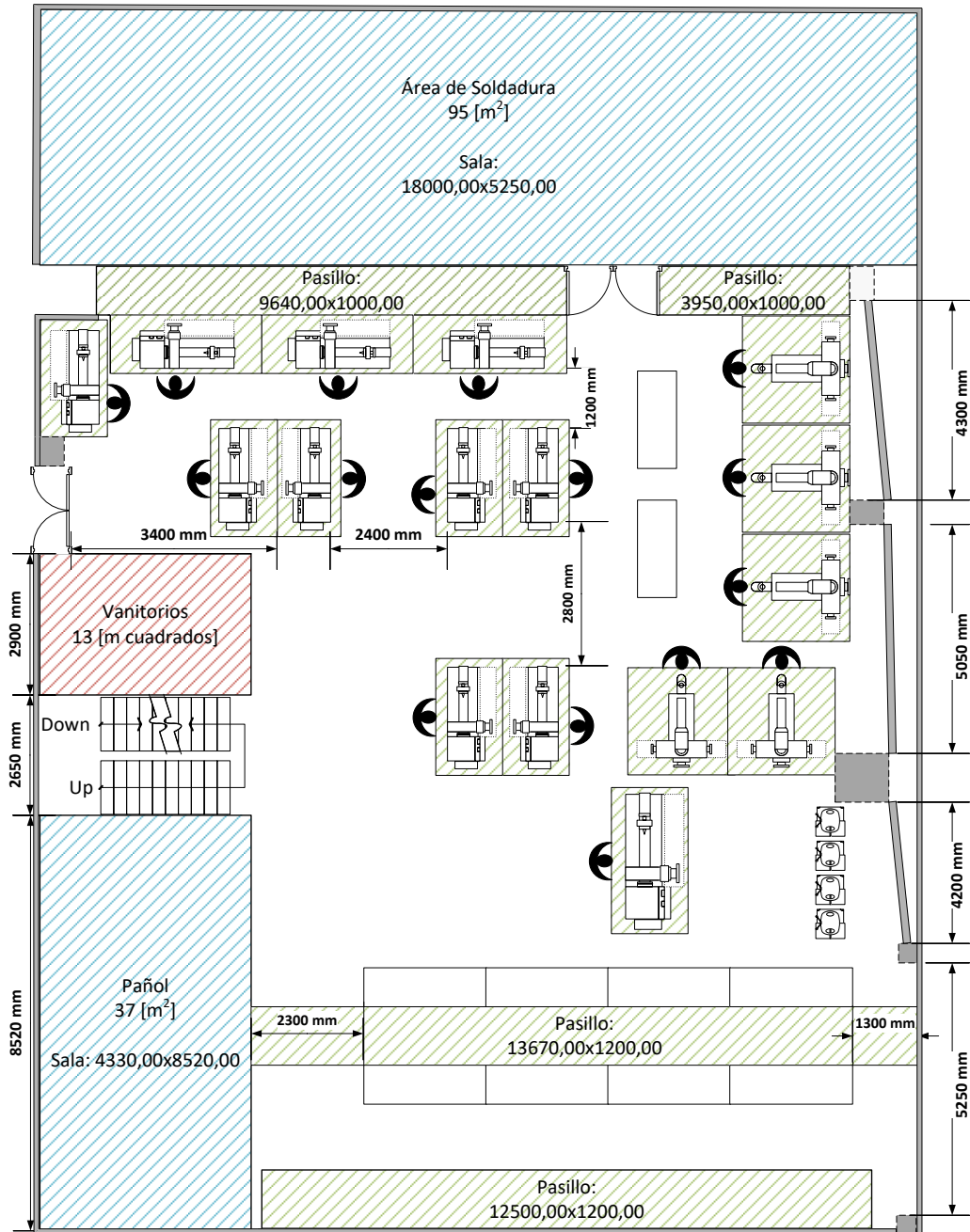


**Figura 4-1:** Disposición Física de equipos en Taller Metalmecánico de Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín.

**Fuente:** Elaboración Propia

## **4.1 Perfil de Mantenimiento**

Actualmente el taller no cuenta con un plan de mantenimiento formal, existen ciertas mantenciones preventivas que son realizadas por los apoyos académicos dentro de las instalaciones, las cuales corresponden principalmente a tareas de limpieza y lubricación para prevenir el mal funcionamiento de las máquinas. Al momento de producirse una falla funcional que no permita seguir trabajando con el activo se solicita apoyo de personal externo de mantenimiento para realizar tareas correctivas. Por ende dentro del mantenimiento que se desarrolla dentro del taller, existe un porcentaje importante de tareas preventivas que son desarrolladas de manera autónoma por los apoyos académicos sin contar con un programa que establezca intervalos de intervención ni tampoco se deja un registro de las actividades realizadas en cada equipo, lo cual produce cierto desorden en la realización de estas actividades. Con esta información se puede establecer que existen determinadas tareas que se acogen a la táctica de Mantenimiento productivo total, principalmente las actividades realizadas de manera autónoma por parte de los apoyos académicos.

Para la intervención de las máquinas, dado una falla funcional del equipo, se solicita el apoyo de una persona externa al taller, el cual realiza tanto las reparaciones como la compra de insumos, ya que no se cuenta con un pañol de repuestos que contenga los componentes críticos de las máquinas, es por esta razón que una tarea de mantenimiento correctivo sobre una máquina se puede tener una extensión considerable, dejando a la máquina indisponible por un período considerable.

Se puede considerar, dada la información aportada por los funcionarios, que las tareas realizadas dentro del taller corresponden en un 80% a tareas correctivas, 15% corresponden a preventivas y el 5% restante son tareas realizadas de forma predictiva, de manera básica, ya que solamente se utilizan los sentidos humanos para detectar fallas, y no las herramientas adecuadas para detectar anomalías en el funcionamiento previas a la falla funcional.

Dentro del taller se ha realizado una gestión previa de la función de mantenimiento, la cual ha sido desarrollada por dos alumnos en su memoria de título

[33]. En ésta se ha realizado una gestión de los equipos con los que cuenta el lugar, en donde se plantea cierta codificación para los equipos (Según ubicación, tipo de máquina y número de secuencia), se realiza una ficha técnica que incluye marca, modelo, serial, fabrica, año de fabricación y características técnicas nominales. Dichas gestiones no fueron implementadas en el taller debido principalmente a la falta de comunicación que existió entre los alumnos y apoyos académicos del taller.

Un aspecto a considerar dentro del perfil de mantenimiento es el estado actual de las máquinas. Dado que no existe un registro de fallas funcionales de manera física, no es posible elaborar un historial de falla de manera muy detallada, de esta manera la información presentada a continuación ha sido entregada por los apoyos académicos del taller quienes tienen la noción de las fallas que han ocurrido pero no del momento en que han sucedido. El Historial de falla para los Tornos se presenta en Tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Registro de fallas ocurridas en Tornos

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>N° de Serie</b> | <b>Tipo de Falla</b>                                    |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| A40801551          | Cambio de Correa                                        |
| A40802866          | No presenta fallas a la fecha                           |
| A40802737          | Fuga de Aceite desde Cabezal Fijo                       |
|                    | Falla de Enclavamiento, palanca caja Norton             |
| A40802728          | Fuga de Aceite desde Cabezal Fijo                       |
|                    | Ajuste Regulación Embrague                              |
| A40903587          | Ajuste Regulación Embrague                              |
| A40903584          | Flexión Eje Estriado Caja Norton                        |
|                    | Fractura 3 dientes Engranaje de Transmisión Caja Norton |
|                    | Eje de Piñón Carro Principal dañado por mala operación  |
| A40903588          | Falla MicroSwitch de seguridad de Plato                 |
|                    | Fuga de Aceite desde Cabezal Fijo                       |
| A40903582          | Ajuste Embrague                                         |
| A40903581          | Fuga de Aceite                                          |
| A40902738          | Cambio de Ampolleta Halógena                            |

Al igual que en el caso de los tornos, en las fresas se desconoce la fecha de los fallos ocurridos, por ende solo se elabora un registro, expuesto en Tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Registro de fallas para fresas

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>N° de Serie</b> | <b>Tipo de Falla</b>                                    |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| 201004022          | Fractura de Eje Motor Caja de Avance                    |
| 201004020          | Falla Pulsador Cambio de Velocidad                      |
| 201004021          | Falla Tuerca Husillo de Mesa por Desgaste               |
| 201004018          | Nada                                                    |
| 201004019          | Falla Final de Carrera para avance longitudinal de mesa |

Los taladros al ser menos requeridos que el resto de los equipos presentan una menor cantidad de fallas funcionales, de hecho hasta el momento solo se ha producido una falla de la cual se desconoce el momento en que ha sido, la cual se expone en Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Registro de Fallas para taladros de pedestal

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>N° de Serie</b> | <b>Tipo de Falla</b>                   |
|--------------------|----------------------------------------|
| 040000002424       | Corte de Resorte en espiral de Torsión |

## 4.2 Contexto Operacional del taller

Es fundamental conocer la organización, los objetivos estratégicos del establecimiento y las actividades y/o procesos que se realizan para alcanzar las metas propuestas, además de establecer el marco legal que regula el lugar, con el fin de establecer el alcance y los criterios que deben ser considerados para la selección de la táctica de mantenimiento y el modelo de definición de criticidad adecuado.

#### 4.2.1 Contexto Interno

En esta sección se realiza una descripción del marco estratégico de la organización, la capacidad en términos de máquinas y recursos humanos, política organizacional del Departamento de Ingeniería mecánica en la cual se encuentra inserto el taller y organización propia de éste.

Primero, dado que el taller no cuenta con un sistema de gestión, y se desconocen los objetivos estratégicos de éste, se torna necesario realizar una propuesta de lo que el establecimiento hace y lo que busca ser. Para ello se utiliza lo establecido por [34], quien define la Misión como la necesidad social que se está satisfaciendo, en base a esto se define como:

*“Aportar a la formación integral de los alumnos a través de la entrega de conocimientos teóricos y habilidades prácticas, velando resguardar la integridad física de los estudiantes”*

En adición, [34] define la Visión como lo que la organización quiere ser, y por tanto, permite la identificación de sus objetivos estratégicos, en base a esto se define como:

*“Ser reconocidos a nivel institucional, por componer una maestría educativa que desarrolla labores productivas bajo altos estándares de seguridad de los trabajadores con un fuerte compromiso medioambiental”*

Con la Misión y Visión establecidas es posible determinar los objetivos estratégicos del taller, dentro de los cuales se destaca:

- Contribuir en el perfil de egreso del ingeniero, entregando un primer acercamiento al mundo laboral y buscando la aplicación práctica de sus conocimientos mediante el desarrollo de productos.
- Desarrollar actividades prácticas con regularidad, utilizando máquinas herramientas que presenten un buen porcentaje de disponibilidad.
- Gestionar la seguridad de los operarios mediante el cumplimiento de normas y procesos que busquen asegurar la integridad física

- Gestionar los desechos generados en el taller, utilizando medios de disposición y reutilización de éstos.

Para el cumplimiento de los objetivos, el taller de Metal Mecánica, en Campus San Joaquín, cuenta con equipos para realizar procesos de mecanizado por arranque de viruta como lo son Fresado, Torneado, Taladrado y Esmerilado, y procesos de Soldadura comprendiendo MIG/MAG y arco eléctrico. Para ello cuenta con:

- 10 Tornos de 3,5 [kW]
- 1 Torno de 7,5 [kW]
- 5 Fresadoras de 4 [kW]
- 2 Rectificadoras de 3,5 [kW]
- 4 Taladros de 2 [HP]
- 10 Máquinas de Soldadura por Arco Eléctrico
- 4 Máquinas de Soldadura MIG/MAG
- 4 Esmeriles
- 1 Sierra Horizontal

En una mirada global, el taller no solo cuenta con máquinas, sino también con cierta infraestructura e insumos para desarrollar los procesos de manera adecuada, para ello dispone de:

- Sistema de Extracción de Gases de Soldadura
- Sistema de Alimentación de Gases de Soldadura
- Redes Eléctricas
- Redes Húmedas
- Pañol de Herramientas
- Pañol de Repuestos e Insumos

Para identificar cada sistema en donde se desarrollan los procesos de manufactura metálica se utiliza la herramienta de Estructura Técnica de Objetos (**TOS** por su sigla en inglés), en donde se aprecia además la relación entre activos e infraestructura en cada zona. Dichas estructuras se exponen en Anexo A de Figura A-1 a Figura A-3.

Conocida la capacidad del taller en términos de maquinaria, es necesario establecer los recursos humanos de los que se dispone. El establecimiento funciona de lunes a viernes de 8:15 a 17:00 horas, cuenta con 4 apoyos académicos de forma permanente en el Taller más el profesor que imparte cátedras en aula y en promedio el taller tiene una ocupación acorde a lo distribuido en Tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Distribución de cantidad máxima de alumnos por semestre correspondientes a cada carrera en Taller Metalmecánico y su promedio anual

**Fuente:** Información entregada por apoyo académico

| <b>Carrera</b>         |            | <b>Cantidad de alumnos 1° semestre</b> | <b>Cantidad de alumnos 2° semestre</b> |
|------------------------|------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Ingeniería Civil       | Mecánica   | 90                                     | 30                                     |
| Ingeniería Civil       | Química    | 40                                     | No se imparten cátedras                |
| Ingeniería Civil       | Industrial | 120                                    | 120                                    |
| Ingeniería en Aviación | Comercial  | No se imparten cátedras                | 40                                     |

En cuanto al nivel organizacional del Taller, cabe mencionar que se encuentra inserto en un marco de docencia, ya que es parte del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad, el cual cuenta con una organización la cual se expone en Figura 4-2, en ésta se encuentra destacado la sección que corresponde al Taller Metalmecánico de Campus San Joaquín, y la relación que éste tiene con dicha organización. Existe además de esto una organización propia del taller, la cual se encuentra expuesta en Figura 4-3. Cabe destacar que la repercusión de un evento acontecido en el recinto, no sólo impacta a éste sino a la institución entera, generando consecuencias transversales a todos los niveles organizacionales.

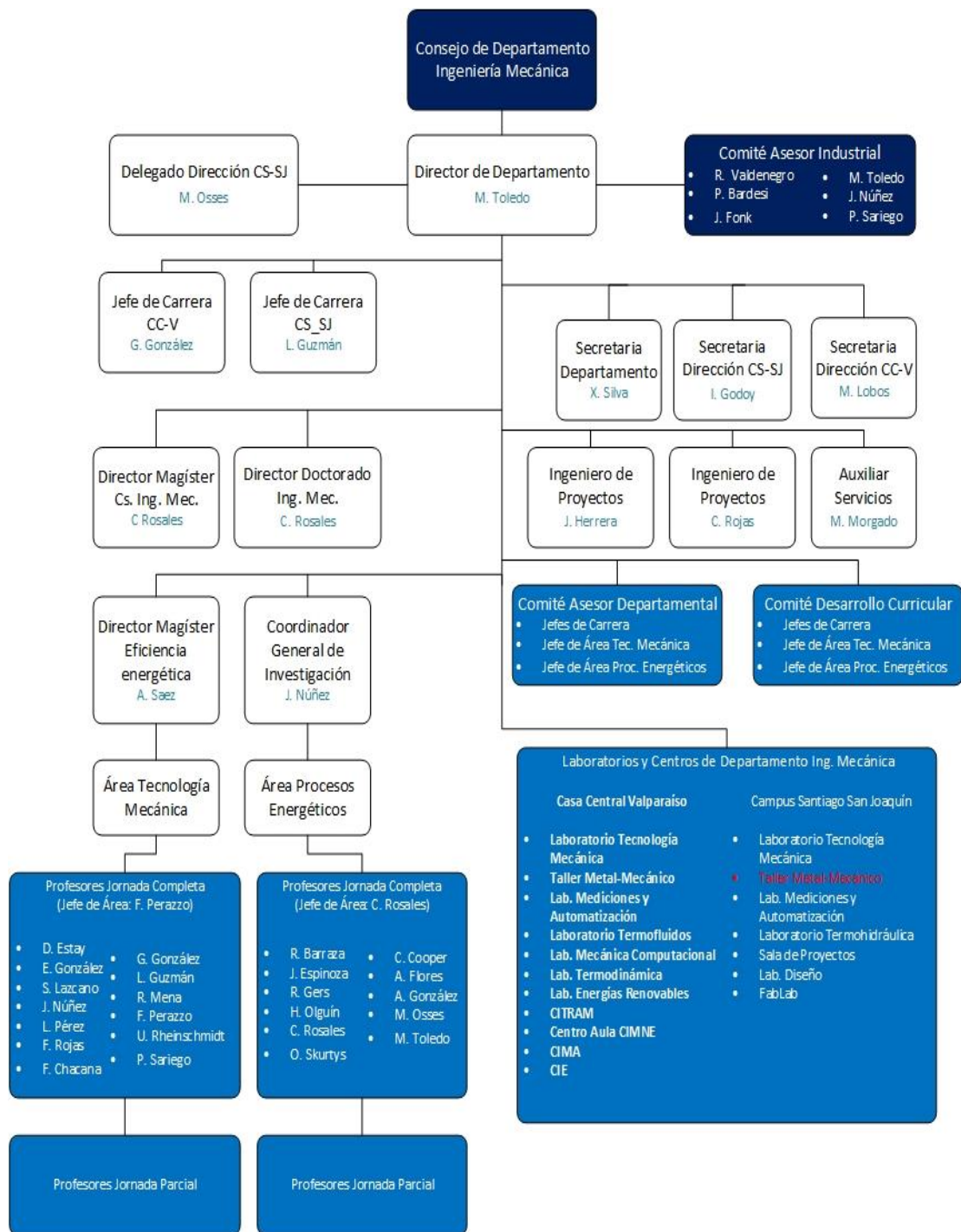


**Figura 4-2:** Organigrama de Departamento de Ingeniería Mecánica

**Fuente:** Memoria de Gestión DIMEC 2015

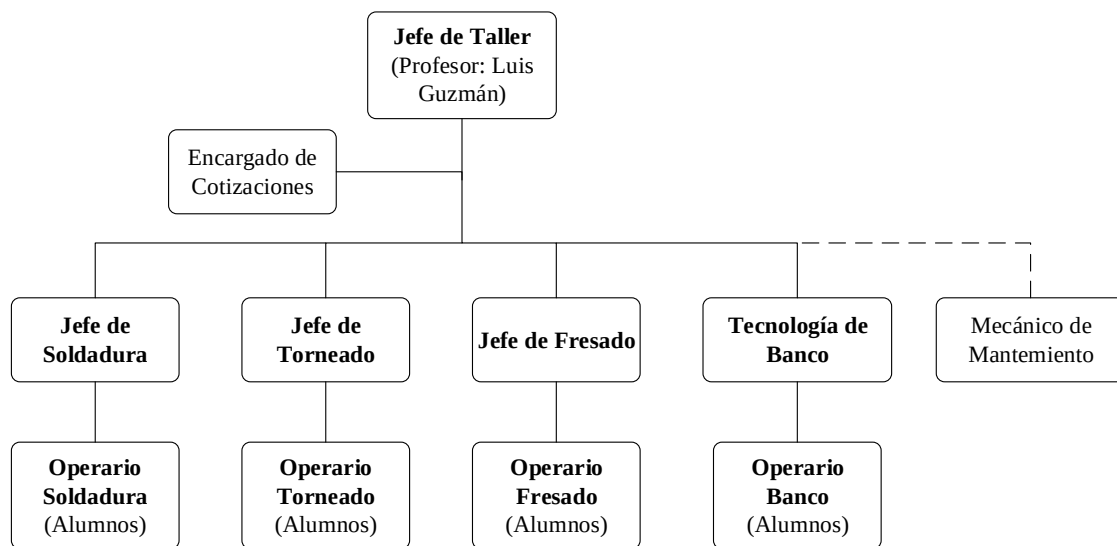


**Figura 4-3:** Organigrama de Taller Metalmecánico

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2.2 Contexto Externo

En esta sección se realiza un recuento del ambiente externo en donde la organización opera, se describe el marco regulatorio, competitivo y se realiza un análisis de los “Stakeholders”.

Dentro del contexto externo es necesario identificar las principales organizaciones que se ven afectadas por el taller. Como se ha mencionado con anterioridad el Taller se encuentra inserto en la Universidad, en donde existen otros departamentos y otras unidades académicas, en este sentido el Taller colinda con Laboratorios de Ingeniería Química, en otro sector con Laboratorios de Ingeniería en Minas, por debajo de él se encuentran Laboratorios de Ingeniería Mecánica y además como la Universidad se encuentra en una zona residencial el Taller está próximo a un sector urbano. Dentro de esto es importante destacar que a pesar de tener una relación directa con otros departamentos y con la comunidad, ya que comparten el espacio físico los principales “Stakeholders” que tiene el taller son los propios trabajadores, los cuales quedan representados en dos categorías, primero los apoyos académicos del

taller y un segundo grupo son los alumnos quienes tienen escaso conocimiento práctico de los procesos realizados, por ende son potencialmente los más afectados en alguna situación desfavorable.

Un segundo aspecto a considerar es el marco regulatorio al cual se rige el taller, comprende principalmente la Ley N° 16.744, la cual establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales. Es necesario destacar que protege a los trabajadores y además a los estudiantes que deban ejecutar trabajos que signifiquen una fuente de ingresos para el respectivo plantel. A lo respectivo a esta ley, se entiende por accidente del trabajo “toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo y que le produzca la incapacidad o muerte”. Además de esto se rige por la norma OHSA 18001, la cual exige a los empleadores el trabajo en condiciones seguras y saludables, finalmente se rigen de acuerdo a la ley para 25.612 para la protección ambiental, la cual tiene relación con la disposición de los residuos industriales.

Un segundo aspecto a destacar dentro del contexto externo es la competencia con otros establecimientos de educación superior, que cuentan con un taller metalmecánico de características similares al de la Universidad. Dentro del marco de docencia, existen varias instituciones que imparten la carrera de Ingeniería Civil Mecánica en Chile, las competencias más directas por calidad educacional son: Universidad de Chile, Pontifica Universidad Católica de Chile, Universidad de Santiago y Universidad de Concepción, de las cuales tienen un Taller de tecnología mecánica equiparable sólo las últimas dos universidades mencionadas.

## Capítulo 5

### 5 Táctica de Mantenimiento

Una adecuada gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la actividad productiva, asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, disminuir al máximo los riesgos para las personas y efectos negativos sobre el medio ambiente, generando, además, procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados [35]. Esta definición supone necesario establecer un sistema de gestión de mantenimiento que contenga una táctica acorde al marco estratégico de la empresa, por lo cual es fundamental analizar la estrategia que mejor se ajusta a los objetivos del taller.

En primera instancia, los objetivos entregados por [35] en su definición de gestión del mantenimiento entregan una base para determinar los factores que pueden influir en la selección de la táctica de mantenimiento, éstos serán analizados en sección 5.1 para evaluar su aplicación dentro del contexto operacional estudiado.

#### 5.1 Criterios de Decisión

Con referencia a lo establecido por [35] y los objetivos estratégicos del taller propuestos en Sección 4.2.1 se analizan los factores que serán considerados para determinar, mediante matriz de decisión por criterios absolutos, la táctica de mantenimiento adecuada para los equipos.

En primer lugar, [35] plantea como objetivo reducir los costos globales de la actividad productiva, los cuales son definidos por [36] como la suma de la inversión inicial en maquinarias e infraestructura más los costos de operación e ineficiencia, por lo tanto en este caso en particular donde se desarrollan actividades productivas, pero la

organización no busca obtener un beneficio económico en la manufactura de productos, se determina que no existen costos de ineficiencia, ya que las piezas producidas no se comercializan. Por otro lado la inversión inicial es un valor constante por lo que no es posible reducirlo durante la operación del ejercicio y, finalmente los costos de operación de la planta que son definidos por [36] como la suma de los costos fijos, los cuales, en el caso del establecimiento se mantienen casi constantes durante el período académico y los costos variables que debido a la ocupación del taller, no existen grandes fluctuaciones en estos valores. Es por estas razones que el factor económico no será considerado para evaluar la táctica de mantenimiento dentro del taller, debido a que no es posible modificar los costos globales de la actividad mediante procesos de intervención en la máquina.

Otro de los objetivos que define [35] al establecer un plan de gestión de mantenimiento efectivo, es el asegurar el buen funcionamiento de los equipos, es decir mantener una buena disponibilidad de los activos, sin embargo, esta es la meta de todas las estrategias de mantenimiento, incluso persiguiendo otro fin en su concepción, como resulta ser el caso de **TPM** que busca aumentar la eficacia integral de los activos fijos instalados, lo cual considera a la disponibilidad dentro de la evaluación [21]. Es por este motivo que el buen funcionamiento de activos no será considerado como un criterio determinante al momento de la selección de la táctica, ya que todas persiguen este fin.

Por otro lado, en base a los objetivos estratégicos de la organización, se puede establecer que uno de los factores determinantes es la posibilidad de acercar a los alumnos al mundo laboral a través de la realización de tareas productivas en una empresa metalmecánica y, con esto contribuir con el perfil de egreso de los estudiantes. En este caso, se considera la posibilidad de expandir los conocimientos que entrega el taller hacia otras áreas específicamente al mantenimiento, por ende se considera la opción de Operador Mantenedor, es decir que los estudiantes desempeñen labores básicas de mantenimiento.

Continuando en el lineamiento del marco estratégico definido para el taller en sección 4.2.1, se ha establecido tanto en la Misión como en la Visión de la Organización

que la Salud y Seguridad del personal es fundamental, dado que se desarrollan actividades prácticas que suponen riesgos hacia la integridad física de las personas, por lo tanto se define como un factor a considerar para la selección de la táctica de mantenimiento, ya que se ha establecido, dentro de los objetivos específicos de este trabajo de título, disminuir el riesgo asociado a los procesos desarrollados dentro del taller. Un factor para evaluar las tácticas de mantenimiento, que se desprende de este objetivo, resulta ser la protección del medioambiente, ya que en el taller se desarrollan actividades que generan desechos contaminantes y, aun cuando la proporción sea menor a la de una empresa productiva, existen residuos que pueden contener sustancias peligrosas para el medioambiente.

La Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (EFQM por sus siglas en inglés) define al sistema de gestión como “*Esquema general de procesos y procedimientos que se emplea para garantizar que la organización realiza todas las tareas necesarias para alcanzar sus objetivos*” [34], es por esta razón que un factor a considerar, al seleccionar la táctica de mantenimiento que será parte del sistema de Gestión, es que ésta esté alineada con los objetivos estratégicos de la organización.

Finalmente, es necesario determinar la aplicabilidad que tiene cada estrategia de mantenimiento dentro del taller, dado el contexto operacional en el que se desarrollan las actividades, puesto que, como menciona [16], cada táctica utiliza diferentes fuentes de información en el proceso de toma de decisiones, como historial de falla, conocimiento determinado por la experiencia, métodos de análisis entre otros. Por ello otro factor serán las fuentes de información que necesita cada método en contraste con lo que se dispone dentro de la organización.

A modo de resumen, los factores que se utilizarán para evaluar la táctica de mantenimiento adecuada dentro del taller están constituidos por:

- Salud y seguridad del personal
- Protección del Medioambiente
- Posibilidad de Operador Mantenedor
- Alineamiento con los objetivos estratégicos de la organización

- Aplicabilidad dentro del taller, dada la información utilizada

Por otro lado no serán factores que influyeran en la toma de decisión, la disponibilidad de los equipos ni tampoco la reducción en los costos globales de operación.

## 5.2 Selección de Táctica de Mantenimiento

En esta sección se considera como base para seleccionar la táctica de mantenimiento el modelo realizado por [16] en donde se ha seleccionado, mediante múltiples criterios de decisión, el enfoque de mantenimiento que mejor se ajusta a los requisitos establecidos. En este caso, se utilizará una matriz de decisión por criterios absolutos, analizando detalladamente si cada estrategia considera o aplica en cada factor determinado en sección 5.1.

En primera instancia, [21] define a **CBM** como la combinación de mantenimiento predictivo y proactivo, los cuales se encargan, mediante el monitoreo de condiciones, de medir el deterioro de equipos y componentes para detectar fallas sintomáticas. Esta idea supone cierta relación con el medioambiente, ya que el objetivo es aprovechar al máximo la vida útil de los activos antes de ser intervenidos, sin embargo dentro de sus propósitos no se considera en ningún caso la salud del personal, ni tampoco la posibilidad de que los operadores realicen tareas de monitoreo, debido a que se requiere de un alto grado de conocimiento para realizar dichas tareas. Finalmente la aplicación de esta táctica emplea información acerca de la operación normal del activo y de etapas tempranas de la falla sintomática [16], lo cual implica contar con un historial desde la instalación del activo hasta el momento, información que no se dispone en el taller, por lo tanto su aplicación en el taller se ve limitada dada la falta de información.

La táctica de Reemplazo a Tiempo Constante según [36] implica realizar intervenciones programadas, en un intervalo de tiempo fijo sin posibilidad de modificación, desconociendo la condición bajo la cual se reemplaza el elemento. Esto no implica ninguna relación con la protección del medioambiente y además esta

metodología no tiene el propósito de velar por la integridad física del personal, por ende no está alineada con los objetivos del taller. En adición a lo anterior, las intervenciones dentro de la máquina son de alta complejidad, por lo cual no es posible que los alumnos realicen labores de mantenimiento. Por otro lado, los tiempos de intervención definidos según el enfoque de la táctica de Reemplazo a Tiempo Constante, buscan reducir los costos globales de operación a través de la disminución de los costos de mantenimiento, estableciendo un período óptimo de reemplazo, lo cual implica contar con información de costos de repuestos y manejar la información confiabilidad de los componentes, por lo tanto su aplicación dentro del taller se ve dificultada debido a que no se cuenta con dicha información.

Implementar **TPM** excede ampliamente al área de Mantenimiento, requiere la participación de todos los niveles y sectores de la organización [21], lo que implica que todos actúen bajo el mismo fin; aumentar la Productividad Total Efectiva, con este objetivo es que se encuentra dentro de la visión de esta táctica la preocupación por Cero Accidentes e incidentes y además uno de los pilares en los que se apoya la estrategia es Higiene, Seguridad y Medioambiente, por lo que puede considerarse que está alineada con los objetivos del taller. Otro de los pilares en los que se basa es el mantenimiento autónomo, es decir que los operadores de las máquinas tengan los conocimientos suficientes para realizar intervenciones al activo y así evitar fallos menores. Finalmente para poder implementar el concepto de **TPM** dentro del taller se debe crear una estructura organizacional capaz de promover la filosofía y gestionar el conocimiento hacia los operarios, por lo tanto es necesario gran cantidad de información acerca de las máquinas y las intervenciones que se realizan para capacitar a los alumnos, por lo tanto su aplicación dentro del taller se ve limitada debido a las fuentes de información necesarias para capacitarlos y a los tiempos estipulados para el desarrollo de actividades académicas.

La estrategia de Mantenimiento basado en riesgos busca alcanzar la máxima seguridad de la organización, mediante inspección de los procesos o componentes que implican alto riesgo, ya sea cuantificado en pérdidas económicas, medioambientales o en salud de los trabajadores, por ende es posible adaptarla a los objetivos estratégicos

establecidos para cada organización [24]. Para analizar el riesgo utiliza diferentes técnicas de identificación las cuales se basan diversas fuentes de información, desde el contexto operacional hasta herramientas de confiabilidad, por lo tanto su aplicación dentro del taller se ve facilitada por la información disponible. Por otro lado, [21] plantea que las herramientas adoptadas para mantener o controlar el riesgo son variadas, por lo tanto existe la posibilidad que los alumnos realicen tareas de inspección o mantenimiento y así contribuir al perfil de egreso definido en sección 4.2.1.

Finalmente la táctica de **RCM** busca determinar los requerimientos de mantención de cualquier activo físico en su contexto operacional real, por ende como define [21] hacer **RCM**, e implementar sus recomendaciones, es alinear el mantenimiento con las metas del negocio, es decir con los objetivos estratégicos, es por esta razón que es posible ajustar la estrategia y utilizar las herramientas que ésta metodología plantea con el objetivo de reducir el riesgo de accidentes a niveles tolerables y satisfacer normativas referida al cuidado del medioambiente.

Por otro lado este enfoque de mantenimiento supone utilizar diferentes tipos de mantenimiento, para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga [20], por lo tanto analiza el contexto operacional para diseñar el plan de mantenimiento basado en un mezcla de tipos de mantenimiento, ya sea preventivo, predictivo, rutinas de inspección, entre otras, [21] por lo tanto es capaz de sostener el concepto de operador mantenedor dentro de las técnicas utilizadas. Finalmente [16] expone que **RCM** depende de la disponibilidad de historial de falla, métodos de análisis y experiencia operacional para alcanzar sus objetivos, además señala que se presentan dificultades en su implementación, debido a la falta de históricos de falla de la planta, en este caso en particular no se cuenta con dicha información por lo tanto la aplicabilidad dentro del establecimiento se ve bastante dificultada.

Finalmente, según lo analizado anteriormente, se exponen los resultados en una matriz de decisión de criterios absolutos en Tabla 5-2, en donde:

- El símbolo ✓ indica que la táctica aplica o tiene una relación directa con el factor
- El símbolo ✕ representa que la táctica no aplica o no se relaciona con el factor

**Tabla 5-1:** Matriz de decisión por criterios absolutos para seleccionar la Táctica de Mantenimiento más adecuada según el Contexto Operacional del Taller

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Factor<br/>Táctica</b>                   | <b>Salud y<br/>Seguridad</b> | <b>Medioambiente</b> | <b>Objetivos<br/>Estratégicos</b> | <b>Operador<br/>Mantenedor</b> | <b>Aplicabilidad</b> |
|---------------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| <b>CBM</b>                                  | ✕                            | ✓                    | ✕                                 | ✕                              | ✕                    |
| <b>Reemplazo a<br/>Tiempo<br/>Constante</b> | ✕                            | ✕                    | ✕                                 | ✕                              | ✕                    |
| <b>TPM</b>                                  | ✓                            | ✓                    | ✓                                 | ✓                              | ✕                    |
| <b>RBM</b>                                  | ✓                            | ✓                    | ✓                                 | ✓                              | ✓                    |
| <b>RCM</b>                                  | ✓                            | ✓                    | ✓                                 | ✓                              | ✕                    |

Con la información expuesta en Tabla 5-2 se selecciona como estrategia de mantenimiento más adecuada para ser aplicada dentro del taller a **RBM**, dado que cumple con la totalidad de requisitos, sin embargo **TPM** y **RCM** se exponen como una opción a ser considerada, a pesar de las dificultades en su implementación debido a la información requerida.

## Capítulo 6

### 6 Criticidad de Activos

La segunda etapa planteada por [35] dentro del proceso de gestión del mantenimiento, supone jerarquizar los activos físicos en base a su criticidad, es decir, su grado de impacto en la consecución de los objetivos estratégicos de la organización, que en este caso dichas metas evidencian la importancia de la entrega de conocimientos, la salud del personal y el cuidado del medioambiente.

Por otra parte, la estrategia de mantenimiento **RBM**, seleccionada en capítulo 5 como la más adecuada según el contexto operacional, utiliza la metodología expuesta en sección 3.3.4 propuesta por [25], en donde se debe estimar el riesgo de cada proceso con el objetivo de jerarquizar los activos, es decir determinar la criticidad, a modo de establecer las necesidades de inspección y/o mantenimiento de cada activo más relevantes y así reevaluar si se encuentra dentro de niveles aceptables de riesgo.

Ambos autores coinciden en la necesidad de jerarquizar los activos para establecer la importancia que tienen dentro del proceso, el primero desde la perspectiva de gestión del mantenimiento mientras que en el segundo caso, desde la perspectiva de la táctica establecida. En esta sección se selecciona y aplica el modelo de definición de criticidad de activos para su jerarquización y así enfocar los esfuerzos sobre aquellos que suponen un grado mayor de dificultad en la consecución de los objetivos estratégicos de la organización. Dentro de este marco estratégico, específicamente si se analiza la misión y visión del taller propuestos en sección 4.2.1, se aprecia que el principal valor es el velar por la integridad física de los alumnos y en segundo lugar se evidencia el compromiso medioambiental que tiene el taller, por ende estos serán los dos factores a considerar para jerarquizar los activos.

El proceso de selección de modelo de criticidad se realiza mediante matriz de decisión por criterios absolutos entre los cuatro modelos planteados en sección 3.3.5 evaluando el que mejor se ajusta a los requisitos de la táctica de mantenimiento seleccionada.

## 6.1 Selección de Modelo de definición de criticidad

Se utilizará una matriz de decisión por criterios absolutos entre los cuatro modelos presentados en sección 3.3.5, ponderando algunos factores que se pueden extraer del contexto operacional del taller y de la filosofía de **RBM**, con la finalidad de obtener el modelo idóneo para definir la criticidad de activos.

Se define por [25] que el riesgo puede ser determinado por el producto de la Probabilidad de ocurrencia de la falla y la consecuencia que tiene ésta en algún área de interés para la organización, sin embargo en este caso específico se considerará el método planteado por [37], expuesto en Sección 3.3.4 quien agrega el factor de exposición, a la cuantificación del riesgo es por ésta razón que el primer factor a considerar, para la matriz de decisión, es determinar si el modelo define la criticidad acorde al riesgo que representa cada activo para los objetivos estratégicos de la organización.

En segundo lugar, [21] dentro de la definición del riesgo industrial, establece que existen diferentes herramientas de apoyo para determinar los riesgos asociados a cada proceso, las cuales utilizan diferentes fuentes de información. Suponiendo que el modelo seleccionado cuantifica el riesgo mediante alguna herramienta determinada, es necesario contrastar los datos disponibles con los requerimientos del modelo seleccionado.

Tercero, [25] postula que la estrategia de **RBM** debe estar alineada con los objetivos estratégicos de la organización, por lo tanto se vuelve necesario evaluar si el modelo de definición de criticidad se condice con el marco estratégico planteado en sección 4.2.1, es decir si los activos serán jerarquizados según el nivel de riesgo que representan para la integridad física de los alumnos y apoyos académicos, por ende se

define un tercer factor el cual indica si el modelo de criticidad considera la salud de las personas.

[21] Establece que el riesgo se debe cuantificar en todos los ámbitos que pueden afectar a la organización, en este caso particular, la mayoría de los procesos realizados involucran en algún momento la generación de desechos o emanación de gases metálicos, es decir se produce contaminación ambiental, por lo tanto es necesario que al momento de definir la criticidad de los equipos se considere el factor medioambiental.

Finalmente, la visión del taller, definida en sección 4.2.1, indica que el taller busca ser un referente institucional que cumpla con altos estándares en sus procesos, para alcanzar este objetivo se debe desarrollar las actividades bajo serias medidas de control del riesgo, de esto se desprende que la criticidad de los equipos y las tareas enfocadas sobre los activos críticos, deben aportar hacia el prestigio de la organización.

En base a los cinco requisitos anteriores, se determina el modelo más efectivo a aplicar dentro del taller, lo cual se expone en Tabla 6-1, en donde:

- El símbolo ✓ indica que la táctica aplica o tiene una relación directa con el factor
- El símbolo ✗ representa que la táctica no aplica o no se relaciona con el factor

**Tabla 6-1:** Matriz de decisión, por criterios absolutos, para elección de Modelo de definición de Criticidad de Activos en planta.

**Fuente:** Elaboración propia

| <b>Factor<br/>Modelo</b>                 | <b>Cuantifica<br/>el riesgo</b> | <b>Información<br/>Disponible y<br/>Utilizada</b> | <b>Salud y<br/>Seguridad</b> | <b>Medioambiente</b> | <b>Prestigio<br/>del Taller</b> |
|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| <b>Criticidad por<br/>Riesgos</b>        | ✓                               | ✓                                                 | ✓                            | ✓                    | ✓                               |
| <b>FMECA</b>                             | ✓                               | ✗                                                 | ✓                            | ✓                    | ✓                               |
| <b>Ranking de<br/>Criticidad</b>         | ✗                               | ✗                                                 | ✓                            | ✓                    | ✗                               |
| <b>Criticidad de<br/>Infraestructura</b> | ✓                               | ✗                                                 | ✗                            | ✗                    | ✗                               |

En base a lo expuesto en Tabla 6-1, se ha determinado que el modelo más adecuado para definir la criticidad de los equipos, en base al análisis del contexto operacional es la metodología de Criticidad por riesgos, utilizando el proceso expuesto por ISO 31.000 en Sección 3.4.1.

## **6.2 Definición de criticidad mediante Norma ISO 31.000**

El riesgo es definido por [38] como el efecto de la incertidumbre sobre la consecución de los objetivos estratégicos de la organización, en este caso, si se analiza el contexto interno del taller específicamente la misión y la visión del emplazamiento, se evidencia que el principal valor del taller es resguardar la integridad física de los alumnos y luego de ello se hace notar el compromiso medio ambiental que se busca adquirir, es por esta razón que todo estudio que se realice considerará estos dos aspectos que son fundamentales para la organización.

Se ha definido en sección 3.4.1 que la Norma plantea como primer paso conocer lo que la organización realiza y con quien interactúa, es decir establecer el contexto interno y externo en dónde se cuantificará el riesgo, lo cual ha sido definido con anterioridad, específicamente en secciones 4.2.1 y 4.2.2 respectivamente, ya que es un paso previo para definir la táctica de mantenimiento adecuada acorde al contexto operacional de los equipos.

### **6.2.1 Contexto de Gestión del Riesgo**

Dentro de la primera etapa definida por la norma ISO 31:000 (Establecer el Contexto) se debe definir además el marco en donde se realiza el proceso de gestión del riesgo. Dentro de esto [38] propone realizar una serie de definiciones con el objetivo de asegurar que el enfoque adoptado por la gestión del riesgo es apropiado a las circunstancias, a la organización y a los peligros que pueden afectar a la organización.

En primera instancia [38] plantea que se debe definir el objetivo del proceso de gestión del riesgo, el cual, en este caso en particular se utiliza para identificar los activos críticos durante el proceso de valoración del riesgo y posteriormente controlarlos mediante diferentes herramientas adoptadas por el sistema de gestión del mantenimiento.

Luego de determinar el objetivo del proceso de gestión del riesgo, es necesario definir las responsabilidades de cada elemento de la organización, en este caso cada apoyo académico está a cargo de su sección dentro del taller, como se ha definido en Figura 4-3, por ende es responsable de una cierta cantidad de alumnos (en promedio 10 alumnos por cátedra práctica) por lo cual ellos serán los encargados de llevar el registro de las herramientas utilizadas para controlar del riesgo. Por otro lado el jefe de taller será encargado de velar por la capacitación de los alumnos con respecto a las actividades que serán introducidas para tratar el riesgo, capacitaciones que serán realizadas durante las cátedras teóricas de la asignatura. Mientras que el mantenimiento de las máquinas para disminuir la probabilidad del riesgo en los procesos seguirá siendo realizado por una persona externa al taller, sin embargo existe la posibilidad de que los apoyos académicos intervengan las máquinas para inspeccionar el estado de los componentes. Finalmente una parte importante de la organización la constituyen los operarios de las máquinas, que en este caso particular son alumnos universitarios, los cuales tendrán la responsabilidad de cumplir con las instrucciones que le son asignadas tanto en materias académicas como de seguridad personal, por lo tanto el control del riesgo depende fuertemente del compromiso que se adquiera por parte de ellos con el proceso.

En el contexto de gestión del riesgo [38] establece, la definición de las actividades para gestionar el riesgo, en este caso en particular las acciones que se realizarán para controlar el riesgo asociado a los procesos determinados como críticos incluyen tareas de inspección y mantenimiento sobre los activos, las cuales serán definidas dentro de un Plan Matriz de mantenimiento. Por otra parte se considera, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad básicas, la introducción de una lista de chequeo rutinaria, que debe ser explicada para la

comprensión de la totalidad de las actividades por parte del profesor de cátedra y realizada por los alumnos dentro de las labores prácticas asignadas.

Por otra parte, dentro de la definición del contexto de gestión del riesgo se debe establecer la extensión de la actividad que es desarrollada por la organización, en términos de tiempo y espacio. Primero es necesario especificar que el taller inicia sus labores en el año 2010 trabajando con las mismas máquinas hasta la fecha, por ende un porcentaje importante de los activos en planta llevan en funcionamiento siete años. Por otro lado en términos de tiempo asignado a los alumnos, el taller de metalmecánica imparte clases semestrales a estudiantes de distintas carreras, utilizando un lapso de cuatro horas y media por sección. En base a esto se puede decir que los plazos definidos para controlar el riesgo que afectan a los alumnos corresponden al tiempo comprendido por el semestre, sin embargo el proceso de gestión del riesgo es gradual por lo que la transición e implementación de las herramientas puede significar un tiempo importante tanto para los apoyos académicos como para el profesor de cátedra, por lo que se asigna un período de un año para la implementación de la totalidad de las herramientas.

La cantidad de clases que curse cada alumno depende de la carrera a la cual pertenezca, ya que existen diferentes requisitos en términos académicos. Finalmente es necesario explicitar que las actividades dentro del taller están acotadas a este emplazamiento dentro de la universidad, lo cual ha sido expuesto en Figura 4-1, sin embargo es posible considerar los edificios de otras unidades académicas (Laboratorios de ingeniería química y de ingeniería en minas) dentro de la Universidad que colindan con el Taller, dado que en ocasiones se ven afectados por ruidos, por emanación de gases metálicos o por la disposición de los desechos metálicos.

### **6.2.2 Desarrollo de Criterio de Riesgo**

Finalmente dentro de la primera etapa de la norma ISO 31.000 (Establecer el contexto) se deben definir los criterios que se aplican para evaluar la importancia del riesgo. Según [38] los criterios deberían reflejar los valores, los objetivos y los recursos

de la organización y pueden estar impuestos o derivarse de requisitos legales o reglamentarios, o de otros requisitos suscritos por la organización.

En este caso se utilizará el modelo planteado por [39] quien postula un modelo para optimizar el mantenimiento, el cual comienza con la jerarquización de activos. Para ello propone una función de riesgo total, lo cual supone asignar un porcentaje a cada criterio que será considerado para definir la criticidad de las máquinas. El principal criterio que será utilizado para evaluar las decisiones será salud y seguridad del personal que aportará según lo establecido por [39] un 80% sobre la función de riesgo total y el 20% restante será determinado por el impacto medioambiental que generan los procesos.

Por otro lado, según [38] para establecer un criterio de riesgo se hace necesario especificar la naturaleza de los riesgos. Dentro del taller los peligros sobre la integridad física y al medioambiente están asociados principalmente a los procesos realizados y también a las máquinas, herramientas, insumos y accesorios utilizados para desarrollar las tareas del taller.

Al estudiar un taller metalmecánico las principales causas que pueden afectar la integridad física del personal son del tipo eléctricas, ya que la totalidad de las máquinas está conectada a la corriente para desarrollar sus funciones, luego un segundo tipo de causas son las mecánicas, en donde se puede producir por ejemplo atrapamiento de una extremidad y dentro de otra categoría es considerado el trabajo con herramientas cortantes en donde existe el riesgo de amputación.

La naturaleza de las causas que pueden tener repercusiones ambientales es producto de los procesos realizados, por ejemplo humos metálicos expuestos por el proceso de soldadura. Una segunda causa es debido a los trabajos de mantenimiento como por ejemplo el reemplazo de aceite en las máquinas

El nivel de criticidad que represente cada equipo, herramientas, secciones del taller o proceso realizado estará determinado por el Método planteado por [37] quien conjuga tres factores para cuantificar riesgo: el impacto que tiene debido al riesgo (**Consecuencia**), la frecuencia a la que se presenta el riesgo (**Nivel de Exposición**) y

la posibilidad de ocurrencia de un peligro (ya sea accidente o contaminación ambiental), dada la exposición al riesgo (**Probabilidad**).

Luego de definir la naturaleza de los riesgos es posible especificar las consecuencias y asociarlo con un factor de severidad, el cual puede estar asociado a un impacto económico, ambiental, social o de salud.

En este caso, el Taller metalmecánico al estar inserto dentro de la Universidad en un marco de docencia tiene principalmente fines académicos, por ende es una maestría bastante particular ya que, a diferencia de la mayoría, ésta no tiene fines de lucro, por lo tanto las consecuencias de los riesgos no estarán asociadas al impacto económico que tenga sobre la organización, por el contrario, los efectos a los que se pondrá enfoque, como se ha mencionado anteriormente, son los que tengan relación con la salud de los apoyos académicos y los alumnos que ingresan al taller y los riesgos que puedan representar impacto medio ambiental. La medición de las consecuencias tanto en salud como en medio ambiente se realizará de manera cuantitativa, la cual se expone en Tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Medidas Cuantitativas del Nivel de Impacto en Salud y en Medio Ambiente de un riesgo dado en Apoyos Académicos y Alumnos.

**Fuente:** Adaptado de [21], Tabla de Evaluación de Consecuencias del Riesgo Industrial

| <b>Nivel de Severidad</b> | <b>Consecuencia sobre la Salud del Personal</b>                              | <b>Impacto en el Medio Ambiente</b>                                                 | <b>Factor de Severidad</b> |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>A</b>                  | Más de 1 fatalidad o lesiones muy graves a 2 personas                        | Impacto significativo sobre especies animales, hábitats                             | 100                        |
| <b>B</b>                  | 1 fatalidad, Lesión Permanente o Enfermedad Profesional a más de una persona | Deterioro ambiental muy grave de largo plazo sobre el funcionamiento del ecosistema | 50                         |
| <b>C</b>                  | Lesión permanente o Enfermedad profesional a 1 persona                       | Efectos ambientales serios de mediano plazo                                         | 30                         |
| <b>D</b>                  | Incapacidad o daño moderado en un porcentaje superior a 30% del cuerpo       | Efectos moderados a corto plazo sin afectar al sistema ecológico                    | 15                         |
| <b>E</b>                  | Incapacidad o daño leve en un porcentaje inferior a 30% del cuerpo           | Efectos menores en el ambiente biológico o físico                                   | 10                         |
| <b>F</b>                  | Incapacidad reversible, no requiere hospitalización                          | Daños acotados sobre un área limitada al taller y espacios colindantes              | 3                          |
| <b>G</b>                  | No se requiere tratamiento médico alguno                                     | Daños limitados al área específica de ocurrencia                                    | 1                          |

Como segundo factor para cuantificar los criterios se debe establecer el Nivel de Exposición al riesgo (Ver Tabla 6-3). La escala de medición se realizará de forma cuantitativa, los tiempos de exposición referenciados han sido ajustados acordes al tiempo de permanencia de los apoyos académicos en el taller, quienes representan una estadía más prolongada en dichas instalaciones.

**Tabla 6-3:** Medidas Cuantitativas del Nivel de Exposición a un riesgo determinado

**Fuente:** Adaptado de [37], Tabla de tiempos de exposición al riesgo

| <b>Nivel de Exposición</b> | <b>Tiempo de Exposición</b>              | <b>Factor de Exposición</b> |
|----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b>                   | Continuamente, 8 horas al día            | 10                          |
| <b>B</b>                   | Frecuentemente, entre 5 y 8 horas al día | 6                           |
| <b>C</b>                   | Ocasionalmente, entre 1 y 5 horas al día | 3                           |
| <b>D</b>                   | Regularmente, una vez al día             | 2                           |
| <b>E</b>                   | Esporádicamente, una vez a la semana     | 1                           |

El tercer factor considerado para la cuantificación del riesgo cuantifica la probabilidad, por lo tanto es necesario definir los niveles de probabilidad de ocurrencia (Ver Tabla 6-4) de un suceso que tenga consecuencias sobre la salud del personal o de generar desechos contaminantes. Los factores de probabilidad serán cuantitativos para mantener concordancia de los valores y, debido a que no se cuenta con un historial de accidentes ni de impacto ambiental dentro del taller, los valores serán ajustados acorde a otras maestranzas.

**Tabla 6-4:** Medidas Cuantitativas de la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado en el Personal

**Fuente:** Adaptado de [21], Tabla de Probabilidad de ocurrencia de un riesgo

| <b>Nivel de Probabilidad</b> | <b>Descripción</b>                                      | <b>Factor de Probabilidad</b> |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Casi Seguro                  | Es el suceso más probable y esperado                    | 10                            |
| Muy Probable                 | Es completamente posible                                | 6                             |
| Probable                     | Suceso extraño pero posible, ha ocurrido                | 3                             |
| Posible                      | Coincidencia muy rara, pero se sabe que ha ocurrido     | 1                             |
| Poco Probable                | Suceso muy remoto, pero concebible                      | 0,5                           |
| Improbable                   | Coincidencia prácticamente imposible, jamás ha ocurrido | 0,1                           |

Finalmente, ya definidos los tres factores que influyen en la valoración del riesgo se hace necesario establecer la magnitud de éste para poder evaluar posteriormente la

criticidad de las actividades desarrolladas dentro del taller, así como las herramientas y máquinas utilizadas mediante la asignación de un valor numérico (Ver Tabla 6-5). Dentro de los valores manejados, cabe destacar que el nivel al cual el riesgo es tolerable es bastante pequeño, lo que representa por ejemplo una incapacidad o daño leve en conjunto con un nivel de exposición regular (entre 1 y 5 horas al día) y dentro de un suceso extraño pero posible.

**Tabla 6-5:** Magnitud, clasificación del riesgo y medidas que deben ser tomadas frente al suceso

**Fuente:** Adaptado de [37]. Tabla de Magnitud y Clasificación del Riesgo

| <b>Magnitud del Riesgo</b> | <b>Clasificación del Riesgo</b>                  | <b>Medidas a ser tomada frente al riesgo</b>                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Sobre 600                  | Intolerable, riesgo muy alto (grave e inminente) | Detención inmediata de la actividad hasta ser corregida                       |
| De 300 hasta 599           | Riesgo alto                                      | Se debe corregir inmediatamente la actividad                                  |
| De 100 hasta 299           | Riesgo moderado                                  | Es necesaria la corrección de forma urgente                                   |
| De 20 hasta 99             | Riesgo tolerable                                 | No es urgente, pero se debe corregir antes que aumente la magnitud del riesgo |
| Menos de 20                | Riesgo aceptable                                 | La corrección puede ser omitida                                               |

### 6.2.3 Valoración del Riesgo

La valoración del riesgo es el proceso de identificación, análisis y de evaluación del riesgo. Esta etapa es considerada como la más importante dentro de la norma ISO 31.000 debido a que es donde se determinará qué activos y procesos son críticos, para su posterior estudio en cuanto a las acciones que deben ser tomadas para manejar el riesgo.

#### **6.2.4 Identificación del Riesgo**

Según [38] es necesario identificar los orígenes de riesgo, las áreas de impacto y las consecuencias según los plazos definidos anteriormente. El objetivo es generar una lista de riesgos exhaustiva, ya que un riesgo que no se identifica en esta etapa no se incluirá en análisis posteriores.

La norma ISO 31.000 plantea que se deben aplicar técnicas de identificación del riesgo que se adapten a los objetivos, es por esta razón que se utilizará [40] para reconocer los riesgos que afecten la salud del personal y en el caso de los riesgos medio ambientales se identifican los factores contaminantes en cada área y con esto se determina la posibilidad de producción de un agente que produzca impacto ambiental. En [40] se establece una metodología para gestionar el riesgo. Dicha herramienta se compone de dos etapas:

- a) Identificación de factores de riesgo de seguridad en los ambientes de trabajo y posterior asociación de cada factor detectado con el riesgo correspondiente.
- b) Propuesta de cálculo para la valoración de los riesgos existentes, basados en el “Valor esperado de la Pérdida” (V.E.P)

##### **6.2.4.1 Identificación de los Factores de Riesgo**

En el procedimiento estipulado por [40] lo primero que se debe realizar, es una pauta que permita reconocer aquellos factores de riesgo existentes en el lugar o puesto de trabajo analizado, independiente de su nivel de incidencia. Dicha pauta se ha realizado considerando las categorías propuestas por [40] y en conjunto con los apoyos académicos de cada sección.

La guía indica que se deben considerar los cuatro bloques en que se puede agrupar los factores de riesgo, lo cuales son: agentes materiales, características personales, entorno ambiental y organización. Considerando lo anterior, se ha construido una matriz con los aspectos que pueden desencadenar en un riesgo (ver Tabla 6-6).

**Tabla 6-6:** Tabla de Factores de Riesgos Identificados para todas las zonas de trabajo del Taller

**Fuente:** Adaptado de [40], Figura de Factores de Riesgo en la organización

| <b>Factor de Riesgo</b> | <b>Agentes Materiales</b> | <b>Personal</b>          | <b>Ambiental</b>         | <b>Organización</b>        |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                         | Máquinas de Trabajo       | Conocimiento del proceso | Iluminación              | Disposición Física Equipos |
|                         | Herramientas de Trabajo   | Actitud de trabajo       | Ruido                    | Supervisión directa        |
|                         | Metal Caliente            | Aptitud para trabajo     | Gases y/o Polvo Metálico | Procesos realizados        |
|                         | Carga Suspendida          | -                        | -                        | -                          |
|                         | Elementos Incandescentes  | -                        | -                        | -                          |
|                         | Accesorios de Trabajo     | -                        | -                        | -                          |

Identificados todos los Factores de Riesgo se procede a completar la Ficha N°1 “Identificación de factores de riesgo” entregada por [40] en su anexo, es importante destacar que se han realizado modificaciones a ésta para ajustarlas a los objetivos. La pauta se ha aplicado en cada sección del Taller por separado, ya que cada zona de trabajo presenta riesgos propios. Es importante que cada factor de riesgo sea categorizado según las clases expuestas en Tabla 6-6. Posteriormente la guía plantea categorizar si los riesgos son del tipo “evitable” o “no evitable” y trabajar solamente con los del tipo “no evitable”, que según la definición realizada por [40] corresponden a riesgos que no puedan ser eliminados de forma fácil, sin implicación de muchas personas o estamentos y cuyas medidas sean sencillas y de rápida instalación. En lo que respecta a este memoria una parte de los riesgos que se han expuestos son del tipo “evitables”, sin embargo, no serán considerados como tal, principalmente por dos razones, primero debido a que los alumnos que ingresan a taller tienen escaso conocimiento práctico de los procedimientos que se llevan a cabo dentro de este recinto y aun cuando los apoyos académicos velen por que no ocurra ninguna situación desfavorable siempre existirá el riesgo en la integridad física debido principalmente al

desconocimiento, por lo tanto el control de los riesgos que afecten a cada persona dependen de al menos tres personas (operario, apoyo académico, profesor de cátedra) y las medidas de control, pueden resultar de difícil implementación debido al desconocimiento de las actividades prácticas.

La segunda razón es debido a que [35] plantea trabajar sólo con los riesgos del tipo “no evitable”, lo cual eliminaría gran parte de los riesgos estudiados en su valoración posterior, por lo tanto se procede a eliminar dicha columna de la ficha.

La segunda etapa de la Guía no será considerada debido principalmente a que ya se ha definido el método para cuantificar el riesgo mediante la utilización de valores cuantitativos de probabilidad de ocurrencia, consecuencia y exposición al riesgo, basado en el trabajo realizado por [37].

#### **6.2.5 Análisis del Riesgo**

El análisis del riesgo, según [38] proporciona elementos de entrada para la evaluación del riesgo y para la toma de decisiones acerca de si es necesario tratar los riesgos, además entrega estrategias y métodos de tratamiento del riesgo más apropiados.

Una vez realizado el proceso de identificación de los riesgos por área de trabajo, es necesario establecer tanto el origen como el efecto de los riesgos. Es en esta etapa donde se han realizado modificaciones a la pauta entregada por [40] para adaptarla a los objetivos requeridos. Se ha tomado como referencia la Ficha N°2 expuesta en el anexo de la misma guía, en donde se señala la(s) causa(s) del riesgo junto con su probabilidad de ocurrencia y se analizan las consecuencias con la respectiva tarea de mitigación existente hasta el momento para cuantificar el factor de severidad. Por otro lado, el riesgo está siendo cuantificado mediante el método expuesto por [37] por lo tanto es necesario considerar la exposición al riesgo (por lo que se añade una columna más dentro de la matriz de evaluación del riesgo), lo que finalmente entrega el índice del riesgo. Se ha aplicado la matriz elaborada en cada sector del taller, identificando los riesgos inherentes a cada proceso.

Para la cuantificación de la probabilidad se utiliza la información obtenida en el Departamento del Trabajo de Estados Unidos, específicamente en el organismo de Seguridad Ocupacional y Administración de la Salud (**OSHA**), quien cuenta con un registro histórico de los accidentes ocurridos en talleres metalmecánicos, esta información se contrasta con la aportada por los apoyos académicos del taller, debido a que son ellos quienes están en contacto con los alumnos y se puede ajustar de mejor manera la probabilidad.

Por otro lado existen riesgos que inherentes a un proceso, pero que dependen de otros activos para ser cuantificados, ejemplo de esto es el caso de los humos y gases emitidos en el proceso de soldadura, los cuales son extraídos con mangas que se ubican sobre el puesto de trabajo de cada alumno, por lo tanto se hace necesario realizar un análisis de la potencia de aspiración que presenta el sistema, para validar la eficiencia al realizar el proceso y, de esta forma determinar el grado de exposición que presenta. Cabe destacar que no existe regulación legal en Chile acerca de la extracción de gases de soldadura, por ende se utilizará el estándar americano establecido por la el organismo **OSHA** en su documento 29 CFR.1910.252(c) [41] quienes entregan el flujo mínimo de aire según distancia a la que se ubique la entrada del extractor con respecto al arco eléctrico (Ver Tabla 6-7). Dichos valores se contrastan con los obtenidos de la medición en terreno de la velocidad de extracción del aire (Ver Tabla 6-8) medido entre 15 a 20 [cm] del extractor debido a la configuración geométrica de la zona de trabajo para distintos casos que consideran el trabajo total o parcial de los extractores. Se aprecia que todos los valores obtenidos están por debajo del valor establecido por la norma, alcanzando inclusive en algunos casos el 50% de la velocidad de extracción mínima, por lo que no se cumple con el estándar americano y la exposición a los gases metálicos es considerada como alta.

**Tabla 6-7:** Valores de flujo de aire mínimo y diámetro de ducto establecidos para un ventilador mecánico por Norma OSHA para mantener un ambiente seguro dentro de una zona de soldadura  
**Fuente:** Tabla extraída de documento 29 CFR.1910.252(c) de norma OSHA [41]

| <b>Zona de Soldadura</b>       | <b>Flujo Mínimo de aire<br/>[m<sup>3</sup>/min]</b> | <b>Diámetro de Ducto<br/>[cm]</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 10 a 15 [cm] del arco o torcha | 4,25                                                | 7,62                              |
| 15 a 20 [cm] del arco o torcha | 7,78                                                | 8,9                               |
| 20 a 25 [cm] del arco o torcha | 12                                                  | 11,43                             |
| 25 a 30 [cm] del arco o torcha | 17                                                  | 13,97                             |

**Tabla 6-8:** Valores de flujo de aire medidos a una distancia de entre 15 a 20 [cm] desde el trabajo de soldadura, primera columna con todos los extractores abiertos, luego con ciertos extractores cerrados.  
**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Puesto de Trabajo</b> | <b>Flujo de Aire<br/>[m<sup>3</sup>/min]</b> | <b>Flujo de Aire<br/>[m<sup>3</sup>/min]</b> | <b>Flujo de Aire<br/>[m<sup>3</sup>/min]</b> | <b>Flujo de Aire<br/>[m<sup>3</sup>/min]</b> |
|--------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1                        | 4,07                                         | 4,91                                         | -                                            | 6,78                                         |
| 2                        | 4,07                                         | 5,25                                         | -                                            | 5,59                                         |
| 3                        | 4,41                                         | 5,93                                         | 5,59                                         | 6,61                                         |
| 4                        | 4,24                                         | 5,25                                         | 5,93                                         | 6,10                                         |
| 5                        | 4,41                                         | 5,59                                         | 5,76                                         | 5,59                                         |
| 6                        | 4,41                                         | 5,08                                         | 5,42                                         | 5,59                                         |
| 7                        | 4,41                                         | 5,25                                         | 5,42                                         | 5,76                                         |
| 8                        | 3,90                                         | 4,75                                         | 5,59                                         | 5,39                                         |
| 9                        | 4,75                                         | 6,44                                         | 6,78                                         | -                                            |
| 10                       | 5,08                                         | 5,42                                         | 6,10                                         | -                                            |
| 11                       | 4,58                                         | -                                            | -                                            | -                                            |
| 12                       | 4,41                                         | -                                            | -                                            | -                                            |

Finalmente con la valoración de la exposición se completa el análisis del riesgo expuesto en Anexo B, desde Tabla B-1 a Tabla B-16 (ver página F a U en Anexos) para riesgos relacionados con la salud del personal y de Tabla B-17 a Tabla B-23 (ver página V a BB de anexos) para riesgos que guardan relación con el medioambiente.

## 6.2.6 Evaluación del Riesgo

En la evaluación del riesgo lo primero que se debe hacer es comparar los niveles de riesgo establecidos en Tabla 6-5, con los obtenidos en la sección 6.2.5, es por esta razón que se añade una columna extra en las tablas de identificación del riesgo, en donde se clasifica los riesgos según valor numérico obtenido.

La criticidad de equipos se obtiene mediante el método establecido por [39] quien plantea establecer “pesos relativos” a las diferentes consecuencias que se pueden presentar. El principal criterio a considerar es la salud y seguridad del personal que aportará un 80% del total según lo establecido por [39] y por otro lado el 20% restante será determinado por el impacto medioambiental que generan los procesos.

Se ha utilizado, además como referencia el método de asignación de valores realizada por [39] a las diferentes categorías de riesgos que se puedan presentar, fijando un valor de 10 a los riesgos categorizados como “Altos”, luego a los “Moderados” un valor de 7, un peso de 3 a los tolerables y finalmente 1 a los catalogados como “Aceptables”. Con esto es posible calcular los factores de criticidad expuestos en Tabla 6-9 y Tabla 6-10, finalmente el Nivel de Criticidad se expone en Tabla 6-11.

**Tabla 6-9:** Cálculo de Factor de Criticidad de Activos en base a Cantidad de Riesgos en Salud  
**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Riesgo</b>     | <b>Riesgo en Salud</b> |                 |                  |                  | <b>Factor de Criticidad</b> |
|-------------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------------------|
|                   | <b>Alto</b>            | <b>Moderado</b> | <b>Tolerable</b> | <b>Aceptable</b> |                             |
| Fresado           | 0                      | 3               | 11               | 4                | <b>52,2</b>                 |
| Soldadura         | 2                      | 8               | 4                | 1                | <b>80,1</b>                 |
| Torneado          | 1                      | 5               | 3                | 3                | <b>51,3</b>                 |
| Rectificado       | 1                      | 2               | 4                | 1                | <b>33,3</b>                 |
| Sierra de Huincha | 0                      | 1               | 6                | 0                | <b>22,5</b>                 |
| Taladrado         | 0                      | 1               | 3                | 5                | <b>18,9</b>                 |
| Afilado           | 1                      | 5               | 4                | 2                | <b>53,1</b>                 |

**Tabla 6-10:** Cálculo de Factor de Criticidad de Activos en base a Cantidad de Riesgos Medioambientales

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Riesgo</b>     | <b>Riesgo Medioambiental</b> |                 |                  |                  | <b>Factor de Criticidad</b> |
|-------------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>Proceso</b>    | <b>Alto</b>                  | <b>Moderado</b> | <b>Tolerable</b> | <b>Aceptable</b> |                             |
| Fresado           | 0                            | 2               | 2                | 0                | <b>18</b>                   |
| Soldadura         | 1                            | 1               | 2                | 0                | <b>20,7</b>                 |
| Torneado          | 0                            | 2               | 3                | 0                | <b>20,7</b>                 |
| Rectificado       | 0                            | 2               | 1                | 0                | <b>15,3</b>                 |
| Sierra de Huincha | 0                            | 2               | 1                | 0                | <b>15,3</b>                 |
| Taladrado         | 0                            | 2               | 1                | 1                | <b>16,2</b>                 |
| Afilado           | 0                            | 1               | 2                | 0                | <b>11,7</b>                 |

**Tabla 6-11:** Nivel de Criticidad para los Procesos calculado en base al criterio expuesto en sección 6.2.6.

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Proceso</b>    | <b>Nivel de Criticidad</b> |
|-------------------|----------------------------|
| Fresado           | 50,4                       |
| Soldadura         | 75,8                       |
| Torneado          | 50,2                       |
| Rectificado       | 33                         |
| Sierra de Huincha | 23,4                       |
| Taladrado         | 20,4                       |
| Afilado           | 49,8                       |

En base a los puntajes expuestos en Tabla 6-11 se jerarquizan los activos, estableciendo que los proceso de **Fresado**, **Soldadura**, **Torneado** y **Afilado** son críticos, luego **Rectificado** es un proceso semicrítico y finalmente los procesos de Taladrado y de Corte de Metal con la sierra de Huincha son no críticos.

### **6.2.7 Tratamiento del Riesgo**

La norma ISO 31.000 hasta el momento ha sido utilizada con el objetivo de definir la criticidad de los activos en planta. La última parte de ésta norma supone seleccionar herramientas para modificar los riesgos existentes de los procesos definidos como críticos y semicríticos, las cuales serán estudiadas en capítulo 7.

## Capítulo 7

### 7 Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios

En los Capítulos 4 y 5 se ha avanzado en concretar la primera etapa de gestión del mantenimiento planteada por [35] quien expone que el procedimiento de establecer el contexto, definir los objetivos, tácticas y responsabilidades de mantenimiento se debe adoptar en caso de que no exista algún método o procedimiento de gestión. En la segunda etapa, una vez definidas las metas de la organización, establecidos los encargados de cada área y seleccionada una estrategia de mantenimiento, el autor propone jerarquizar los equipos en planta, en base a su criticidad, es decir el impacto que tenga sobre los objetivos estratégicos de la organización, lo cual ha sido realizado en Capítulo 6, mediante el método de valorización por riesgo utilizando como pauta la norma ISO 31.000:2009.

Dentro de la tercera etapa, ya realizada la jerarquización de los activos físicos en planta en función de la criticidad, [35] plantea analizar los puntos débiles en los equipos de alto impacto, con el objetivo de conocer el estado actual de las máquinas, para determinar las necesidades específicas de mantenimiento, este proceso se realiza principalmente mediante conversaciones con los operarios de las máquinas y los encargados de cada área, sin embargo, esta etapa ya ha sido concretada durante el trabajo, específicamente se ha realizado para establecer el historial de falla de los equipos en Sección 4.1 del Capítulo 4.

Posteriormente, la cuarta etapa de la gestión del mantenimiento, definida por el autor, la cual será discutida en este capítulo, supone el diseño de planes de mantenimiento preventivo, en base a la aplicación de la metodología de **RCM**, lo cual no será considerado, debido a que, como se ha expuesto en capítulo 5, dicha

metodología requiere de gran cantidad de información para sustentar la toma de decisiones. Por lo que se utilizará un método alternativo planteado por el autor, quien propone definir las necesidades de mantenimiento en base a **FMECA**.

## **7.1 Elaboración de Sistema de Administración del Trabajo**

Previo a la elaboración de un plan de intervención preventivo, [42] plantea que las etapas tempranas del mantenimiento corresponden a enfoques sobre las acciones de mantenimiento. En la primera se busca corregir la falla o parada imprevista, y es donde aparecen las herramientas de administración del trabajo. En ella surgen las bases de datos y luego el sistema de información para que el mantenimiento funcione. En la segunda etapa se empiezan a utilizar técnicas y metodologías propias de la prevención y predicción, tales como rutinas de inspecciones, planes preventivos, mediciones técnicas y diagnóstico de condición de estado de los equipos. Según este enfoque el taller se encuentra en la mitad de la primera etapa, dado que realiza mantenimiento correctivo cuando ocurre una falla sin embargo, no existe un sistema de administración del trabajo que se ha realizado en los equipos, por lo que, previo a la elaboración de planes de mantenimiento preventivos, es necesario establecer una base sólida para avanzar a la segunda etapa planteada por [42].

En esta sección se define el sistema de administración del trabajo de mantenimiento que será implementado, dentro del taller, a través de la herramienta orden de trabajo (**OT**), la cual es descrita por [21] como una herramienta de documentación para la organización que contiene información relevante acerca de las intervenciones que han sido realizadas en el activo físico. En ella se describen las actividades desarrolladas por el personal de mantenimiento, y si existen, debe incluir procedimientos de trabajo, componentes utilizados para el reemplazo e inclusive técnicas de inspección predictivas que han sido desarrolladas.

[42] Establece que las **OT** son fundamentales en el proceso de administración del trabajo de mantenimiento, ya que por ellas pasan las tareas preventivas generadas desde el programa de mantenimiento, indican cuando se ha realizado una tarea posterior a la

falla y en adición son una buena fuente de información, ya que establecen un historial de falla para obtener parámetros de los activos.

Se ha considerado como referencia el formato de **OT** expuestas por [21], ajustándolas a los requerimientos del taller metalmecánico, por lo que se han realizado modificaciones en ciertos aspectos, debido principalmente a la especificidad de algunos ítems que son considerados por el autor, dentro de los modelos planteados.

|                                                                          |                                                  |                          |            |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|------------|--|
| <b>Universidad<br/>Técnica Federico<br/>Santa María, San<br/>Joaquín</b> | <b>Orden de<br/>Trabajo de<br/>Mantenimiento</b> | <b>N° de Orden:</b>      |            |  |
|                                                                          |                                                  | <b>Fecha de Emisión:</b> |            |  |
|                                                                          |                                                  | <b>Solicitado Por:</b>   |            |  |
| <b>Datos de Mantenimiento</b>                                            |                                                  |                          |            |  |
| Área de Trabajo:                                                         | Tipo de Mantenimiento (Marque con X)             |                          |            |  |
|                                                                          | Correctivo                                       | Preventivo               | Predictivo |  |
| N° de Máquina:                                                           |                                                  |                          |            |  |
| Realizado por:                                                           |                                                  |                          |            |  |
| Descripción de Tarea Realizada:                                          |                                                  |                          |            |  |
| Componentes Utilizados:                                                  |                                                  |                          |            |  |
| Aprobado por:                                                            |                                                  | Fecha de término:        |            |  |
|                                                                          |                                                  | Firma:                   |            |  |

**Figura 7-1:** Orden de Trabajo para tareas de Mantenimiento dentro del Taller Metalmecánico de la Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín

**Fuente:** Trabajo ajustado de modelo expuesto por [21]

Posterior a la realización del formato de **OT**, [21] plantea que es necesario desarrollar un sistema informático que permita mantener un registro actualizado de los

trabajos realizados sobre los activos, con el objetivo de establecer un registro formal de los trabajos realizados y así evitar pérdidas por errores operacionales. Se elabora una planilla, utilizando el software *Microsoft Excel*, con el objetivo que sea de fácil comprensión por los apoyos académicos.

## 7.2 Elaboración de Plan de Mantenimiento

Una vez que se ha cimentado una base sólida en la primera etapa del mantenimiento, es decir, se realiza un mantenimiento correctivo sobre los equipos, sin embargo se deja un registro de ello, [42] plantea elaborar planes de inspección y/o mantenimiento de carácter preventivo para evitar pérdidas por paradas inesperadas. Por otro lado [35] propone la utilización de la herramienta **FMECA**, para definir las necesidades de mantenimiento de cada activo crítico, lo cual será desarrollado en esta sección. Para la elaboración del análisis de modo de falla, efecto y criticidad es necesario manejar información acerca de los componentes principales, es decir hacer un análisis técnico de los sistemas críticos, los cuales se encuentran expuestos en Anexo A (ver páginas A, B, C y D en anexos) para determinar los modos en que cada subsistema puede fallar junto con la probabilidad de ocurrencia en su contexto operacional real y las consecuencias que puede generar dicha falla. Para establecer los criterios anteriores se consulta [43] y se utiliza como fuente de información secundaria, los antecedentes aportados por los apoyos académicos del taller, con el objetivo de ajustar los valores al contexto operacional en base a la experiencia que tienen ellos dentro del emplazamiento. Con los resultados obtenidos, del proceso de contrastar la información teórica (base de datos) con la indicada por los apoyos académicos, se realizan el análisis de modo de falla, efecto y criticidad, expuesto en Anexo C (ver páginas DD a QQ en sección Anexos).

Continuando con la metodología expuesta por [35], dentro de la cuarta etapa del proceso para establecer un sistema de gestión de mantenimiento, se debe definir el plan de mantención, en base a los resultados de la aplicación de las herramientas planteadas por el autor (metodología **RCM** o **FMECA**), sin embargo [21] establece

explícitamente que si no se cuenta con una base sólida de mantenimiento que sustente los programas de intervención en las máquinas y la periodicidad de reemplazo de componentes, se debe elaborar programas de inspección en busca de necesidades de mantenimiento, los cuales deben ser realizados y ajustados para determinar la frecuencia que mejor se adecúa en la intervención de la máquina.

Previo a la realización de los planes de inspección es necesario determinar la ocupación promedio de las máquinas, por lo que se utiliza la metodología planteada por [21] quien propone un método alternativo en caso de que la organización no cuenta con una forma exacta para determinar las horas de funcionamiento de la máquina. El autor plantea que se debe definir un tiempo promedio de ocupación, el cual ha sido establecido, en este caso, según la máxima ocupación del taller, es decir que los activos son ocupados 20 horas semanales (5 días a la semana durante 4 horas diarias).

Considerando los resultados de la aplicación de FMECA y definida la ocupación semanal de las máquinas se elaboran los planes de inspección de los procesos críticos, los cuales son expuestos en Tabla 7-1 a Tabla 7-5.

**Tabla 7-1:** Programa de Inspección y Mantenimiento para Soldadura por Arco Manual

**Fuente:** Elaboración Propia

| Código   | Máquina                        | Sistema/Componente             | Trabajo                                      | Frecuencia        |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| 21056719 | Soldadora por Arco Manual 1-10 | Porta Electrodo                | Verificar aislación del mango**              | Antes de cada uso |
| 21056714 |                                |                                | Verificar Estado de Cerámica de Sujeción**   | Antes de cada uso |
| 21056710 |                                |                                | Verificar Resorte de Sujeción                | Antes de cada uso |
| 21056712 |                                | Terminales de Conexión         | Revisar que los terminales no estén quemados | Mensual           |
| 24161406 |                                |                                |                                              |                   |
| 21056713 |                                | Cables Conductores             | Revisión de Cables                           | Mensual           |
| 21056718 |                                |                                | Reemplazo de Cables                          | Cada 3 años       |
| 21056716 |                                | Máquina de Soldar              | Limpiar con aire comprimido                  | Semestral         |
| 21056717 |                                |                                |                                              |                   |
| 21065306 |                                | Sistema de Extracción de Gases | Verificar Velocidad de Extracción            | Semestral         |

**Tabla 7-2:** Programa de Inspección y Mantenimiento para Soldadora MIG/MAG

**Fuente:** Elaboración Propia

| Código                                       | Máquina                   | Sistema/Componente     | Trabajo                                                        | Frecuencia        |
|----------------------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| 19302633<br>19242930<br>25233337<br>25233335 | Máquina de Soldar MIG/TIG | Suministro de Gas      | Verificar que el Sistema entrega gas en la proporción adecuada | Antes de cada uso |
|                                              |                           | Sistema de Ventilación | Verificar velocidad de extracción de gases                     | Semestral         |
|                                              |                           | Pistola de soldar      | Revisión de obstrucciones                                      | Antes de cada uso |
|                                              |                           | Alimentador de Alambre | Verificar la salida correcta de alambre                        | Antes de cada uso |
|                                              |                           | Terminales de Conexión | Revisar que los terminales no está quemados                    | Semestral         |
|                                              |                           | Cables Conductores     | Revisión de Cables, verificando ausencia de cortes             | Mensual           |
|                                              |                           |                        | Reemplazo de Cables Conductores                                | Cada 3 años       |
|                                              |                           | Máquina de Soldar      | Limpiar con aire comprimido                                    | Semestral         |

**Tabla 7-3:** Programa de Inspección y Mantenimiento para Torno Horizontal

**Fuente:** Elaboración Propia

| Código                                                                                                                         | Máquina | Sistema<br>Componente  | Trabajo                                        | Frecuencia  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------------------|-------------|
| A40801551<br>A40802866<br>A40802737<br>A40802728<br>A40903584<br>A40903588<br>A40802738<br>A40903581<br>A40903582<br>A40903587 | Torno   | Sistema Eléctrico      | Revisar Cable de Alimentación                  | Bimensual   |
|                                                                                                                                |         | Motor Eléctrico        | Inspección de rodamientos y temperatura        | Semestral   |
|                                                                                                                                |         |                        | Análisis de Estado Vibracional*                | Anual       |
|                                                                                                                                |         | Sistema de Transmisión | Revisar Desgaste y tensión en correas          | Semestral   |
|                                                                                                                                |         |                        | Inspección de alineamiento de Poleas           | Semestral   |
|                                                                                                                                |         | Plato de 3 Garras      | Verificar el funcionamiento del plato          | Mensual     |
|                                                                                                                                |         | Cabezal Móvil          | Verificar el funcionamiento del contrapunto    | Mensual     |
|                                                                                                                                |         |                        | Lubricación de Contrapunto (Aceite 30#)        | Cada 3 días |
|                                                                                                                                |         | Nonios                 | Verificar el desplazamiento de los nonios      | Semestral   |
|                                                                                                                                |         | Caja de Velocidades    | Inspección de Nivel de Aceite                  | Semanal     |
|                                                                                                                                |         |                        | Reemplazo de Aceite 20#                        | Trimestral  |
|                                                                                                                                |         |                        | Revisar Engranajes                             | Trimestral  |
|                                                                                                                                |         |                        | Inspección de Rodamientos                      | Trimestral  |
|                                                                                                                                |         | Caja Norton            | Inspección de Nivel de Aceite                  | Semanal     |
|                                                                                                                                |         |                        | Reemplazo de Aceite 30#                        | Trimestral  |
|                                                                                                                                |         |                        | Revisar Engranajes                             | Semestral   |
|                                                                                                                                |         |                        | Inspección de Rodamientos                      | Semestral   |
|                                                                                                                                |         | Bancada                | Revisar estado de las guías                    | Mensual     |
|                                                                                                                                |         | Portaherramientas      | Lubricación de Carro Principal con Aceite 30#  | Semanal     |
|                                                                                                                                |         |                        | Lubricación de Torreta con Aceite 30#          | Cada 3 días |
|                                                                                                                                |         |                        | Lubricación de Carro Secundario con Aceite 30# | Semanal     |
|                                                                                                                                |         | Tornillo Patrón        | Engrasar con grasa a base de Calcio No. 2      | Semanal     |

**Nota:** \*: Propuesto para ser realizado por alumnos de ramo Mantenimiento Industrial (IMM 240) utilizando los equipos de laboratorio

**Tabla 7-4:** Programa de Inspección y Mantenimiento para Fresadora Vertical

**Fuente:** Elaboración Propia

| Código                                                            | Máquina                | Sistema o Componente           | Trabajo                                 | Tipo de Mantenimiento | Frecuencia        |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 201004019/<br>201004018/<br>201004021/<br>201004022/<br>201004020 | Fresadora<br>1/2/3/4/5 | Sistema Eléctrico              | Revisar la alimentación de red          | Eléctrico             | Mensual           |
|                                                                   |                        | Motor Eléctrico                | Inspección de Rodamientos y Temperatura | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        |                                | Análisis de Estado Vibracional*         | Mecánico              | Anual             |
|                                                                   |                        | Sistema de Transmisión         | Revisar Tensión de Correas              | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        |                                | Inspección de Poleas                    | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        | Sistema de Mando               | Revisión de Parada de Emergencia        | Eléctrico             | Antes de cada uso |
|                                                                   |                        |                                | Revisar Operación de Botoneras          | Eléctrico             | Antes de cada uso |
|                                                                   |                        | Caja de Velocidades            | Revisar el Estado de los Engranajes     | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        |                                | Revisar Estado de Rodamientos           | Mecánico              | Trimestral        |
|                                                                   |                        |                                | Inspección de Lubricante                | Lubricación           | Semestral         |
|                                                                   |                        | Mesa                           | Verificar Alineamiento de la Mesa       | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        |                                | Revisión de Finales de Carrera          | Eléctrico             | Mensual           |
|                                                                   |                        | Nonios                         | Verificar Desplazamientos               | Mecánico              | Semestral         |
|                                                                   |                        | Bomba de Lubricación Manual    | Rellenar Bomba                          | Lubricación           | Semanal           |
|                                                                   |                        | Tornillos Patrones Eje X, Y, Z | Engrasar Ejes                           | Lubricación           | Semestral         |
|                                                                   |                        | Husillo                        | Engrasar                                | Lubricación           | Semestral         |

**Nota:** \*: Propuesto para ser realizado por alumnos de ramo Mantención Industrial (IMM 240) utilizando los equipos de laboratorio

**Tabla 7-5:** Programa de Inspección y Mantenimiento para Esmeril de Pedestal

**Fuente:** Elaboración Propia

| Código | Máquina             | Sistema o Componente   | Trabajo                                               | Frecuencia |
|--------|---------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| -      | Esmeril de Pedestal | Muela                  | Revisar por Grietas en Muela                          | Mensual    |
|        |                     | Muela                  | Verificar distancia entre muela y protección (2 [mm]) | Diario     |
|        |                     | Motor Eléctrico        | Inspección por ruido y temperatura                    | Semestral  |
|        |                     | Alimentación eléctrica | Verificar cable de alimentación                       | Semestral  |

### 7.3 Elaboración de propuesta de Plan Matriz

Una vez definidas las tareas de inspección y mantenimiento, [35] plantea que se debe realizar una programación detallada de todas las actividades, considerando las necesidades de disponibilidad de la máquina en escala temporal y el costo de oportunidad para la organización, durante la ejecución de las tareas. Según el autor la programación de las actividades pretende reducir los tiempos de indisponibilidad, así como optimizar la asignación de recursos, ya sea humanos como materiales.

Para la programación de las actividades de inspección y de mantenimiento definidas para los activos críticos en sección 7.2, se realizará una propuesta de plan matriz de mantenimiento, considerando un horizonte temporal de 5 años. Para programar las tareas se utiliza la metodología (ver figura 7-2) expuesta por [42] quien plantea como base para la toma de decisiones de programación, la minimización de los costos globales, lo cual no será considerado en este caso dado que el mantenimiento no impacta en la productividad de la máquina, sin embargo la restricción utilizada en este caso será la disponibilidad de las máquinas para el desarrollo de actividades prácticas

y como segundo criterio para definir las fechas, se considera la limitante temporal debido a que el servicio de mantenimiento es externalizado, por lo cual se debe considerar dentro de las fechas definidas.

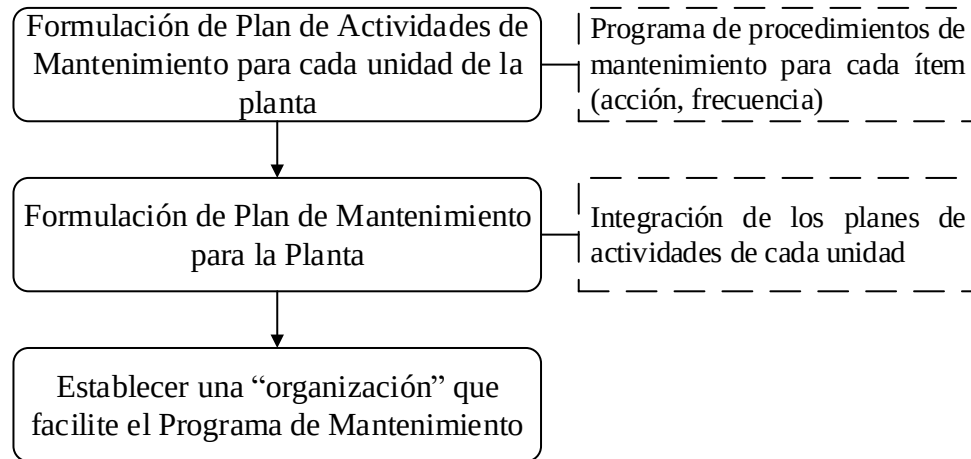


**Figura 7-2:** Estructura de diseño del Plan Matriz de Mantenimiento

**Fuente:** Arata, A. (2009) [38]

Considerando las restricciones técnicas descritas anteriormente, para la toma de decisiones de planificación, se elabora el plan matriz de mantenimiento utilizando el software *Microsoft Excel*, estableciendo las tareas que deben ser realizadas semana a semana por máquinas. Para ello se recopila primero se realiza un listado (ver Tabla 7-6) con las máquinas críticas y con el encargado del área correspondiente a dicho activo.

**Tabla 7-6:** Extracto de listado de máquinas, con encargado correspondiente

**Fuente:** Elaboración propia

| Número de Serie | Máquina            | N° de Equipo | Encargado área   |
|-----------------|--------------------|--------------|------------------|
| 201004019       | Fresadora 1        | 1            | Claudio Aravena  |
| 201004018       | Fresadora 2        | 2            | Claudio Aravena  |
| 201004021       | Fresadora 3        | 3            | Claudio Aravena  |
| 21056719        | Soldadora Manual 1 | 1            | Exequiel Catalán |
| 21056714        | Soldadora Manual 2 | 2            | Exequiel Catalán |
| A40801551       | Torno 1            | 1            | Jaime Núñez      |
| A40802866       | Torno 2            | 2            | Jaime Núñez      |
| A40802737       | Torno 3            | 3            | Jaime Núñez      |

Luego de establecer el listado y el encargado de realizar las tareas de inspección en cada máquina se considera el programa académico de cada curso realizado en el taller, para analizar las limitantes temporales, como ha sido planteado por [35] y estudiar la factibilidad en el desarrollo de las tareas durante el semestre académico, con lo que finalmente resulta el plan matriz de mantenimiento el cual se divide en dos tablas, la primera (ver tabla 7-7) expone el código de la máquina, en la segunda columna se expone la máquina a la que corresponde dicho código, se especifica el tipo de mantenimiento, la frecuencia, el sistema o componente que se debe inspeccionar y finalmente se detalla el trabajo a realiza. En la segunda tabla (ver tabla 7-8) se expone la frecuencia de dicha tarea en días, la fecha que ha sido asignada para realizarse por primera vez, los días de atrasado desde la ejecución de dicha tarea, el mes al que corresponde realizar la tarea, el encargado y finalmente se detallan los días en que deben ser realizadas dichas actividades.

**Tabla 7-7:** Extracto de Plan matriz de mantenimiento

**Fuente:** Ajustado de Plan matriz anual planteado por [42]

| <b>Código</b> | <b>Máquina</b>     | <b>Tipo de Mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Sistema/Componente</b> | <b>Trabajo</b>                               |
|---------------|--------------------|------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| 201004019     | Fresadora 1        | Eléctrico                    | Mensual           | Sistema Eléctrico         | Revisar la alimentación de red               |
| 201004019     | Fresadora 1        | Mecánico                     | Semestral         | Motor Eléctrico           | Inspección de Rodamientos y Temperatura      |
| 201004019     | Fresadora 1        | Mecánico                     | Anual             | Motor Eléctrico           | Análisis de Estado Vibracional               |
| A40801551     | Torno 1            | Eléctrico                    | Bimensual         | Sistema Eléctrico         | Revisar Cable de Alimentación                |
| A40801551     | Torno 1            | Mecánico                     | Semestral         | Motor Eléctrico           | Inspección de rodamientos y temperatura      |
| A40801551     | Torno 1            | Mecánico                     | Anual             | Motor Eléctrico           | Análisis de Estado Vibracional               |
| A40801551     | Torno 1            | Mecánico                     | Semestral         | Sistema de Transmisión    | Revisar Desgaste y tensión en correas        |
| 21056719      | Soldadora Manual 1 | Eléctrico                    | Mensual           | Terminales de Conexión    | Revisar que los terminales no estén quemados |
| 21056719      | Soldadora Manual 1 | Eléctrico                    | Mensual           | Cables Conductores        | Inspección de Cables                         |
| 21056719      | Soldadora Manual 1 | Eléctrico                    | Cada 3 Años       | Cables Conductores        | Reemplazo de Cables                          |

**Tabla 7-8:** Extracto de Plan matriz de mantenimiento

**Fuente:** Ajustado de Plan matriz anual planteado por [42]

| <b>En días</b> | <b>Fecha</b> | <b>Días de<br/>Atraso</b> | <b>Año</b> | <b>Mes</b> | <b>Asignado</b>  | <b>Sem 01</b> | <b>Sem 02</b> |
|----------------|--------------|---------------------------|------------|------------|------------------|---------------|---------------|
| 30             | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Claudio Aravena  | 03-01-2017    | -             |
| 180            | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Claudio Aravena  | 03-01-2017    | -             |
| 365            | 20-03-2017   | 73                        | 2017       | Marzo      | Claudio Aravena  |               | -             |
| 60             | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Jaime Nuñez      | 03-01-2017    | -             |
| 180            | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Jaime Nuñez      | 03-01-2017    | -             |
| 365            | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Jaime Nuñez      |               | -             |
| 30             | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Exequiel Catalán | 03-01-2017    | -             |
| 30             | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Exequiel Catalán | 03-01-2017    | -             |
| 1095           | 03-01-2017   | 149                       | 2017       | Enero      | Exequiel Catalán | 03-01-2017    | -             |

## 7.4 Tarea de inspección rutinaria

La criticidad dentro del capítulo 6, ha sido definida según el riesgo que representa un proceso sobre la salud de las personas y según el impacto medioambiental que puede generar. Dentro del marco de gestión del riesgo, planteado por la norma ISO 31.000:2009 existen ciertas actividades que deben ser controladas mediante tareas de inspección autónomas, como lo plantea [22] en su definición de la estrategia de **TPM**.

Para ello, se considera lo postulado por [21] en donde se plantea que el mantenimiento no involucra exclusivamente tareas de reparación y reemplazo sino que incluye rutinas de chequeos que son de alta periodicidad. En este caso particular se busca que las tareas desarrolladas, sean realizadas por los alumnos con la supervisión del encargado de cada área.

Cabe destacar que el plan matriz no considera las tareas de rutinas de inspección diaria, ya que como se ha mencionado anteriormente, éstas no deben ser realizadas por el encargado del área sino más bien por el operario del equipo. Las listas de inspección de rutina o listas de chequeo se encuentran ubicadas en anexo D (ver páginas RR a UU)

## Conclusiones

Dentro de este trabajo de título se ha planteado un sistema de gestión de mantenimiento para un taller metalmecánico siguiendo principalmente el modelo planteado por [35]. Para la consecución de dicho objetivo, primero se ha realizado una identificación de los activos que comprende el emplazamiento, dentro de los cuales se reconoce que está compuesto por máquinas herramientas para realizar procesos de mecanizado metálico por arranque de viruta, como lo son Fresadoras, Tornos, Rectificadoras, Taladros y Sierra de Huincha y además existen máquinas para realizar procesos de ensamble en el metal tales como Soldadura por Arco Manual y Soldadura MIG/TIG. Además de los activos mencionados anteriormente, existe otra categoría de equipos e instrumentos que se utilizan para desempeñar las tareas de manera adecuada dentro de lo que se encuentra Sistema de Extracción de Gases, Sistema de Alimentación de Gases de Soldadura, Redes Húmedas y Redes Eléctricas.

Luego de identificar los activos que comprende el taller, se analiza el perfil de mantenimiento que se ha desarrollado hasta la fecha sobre estas máquinas, identificando que un 80% de las tareas que allí se realizan son correctivas, un 15% preventivas dentro de las cuales principalmente destacan actividades de lubricación de partes móviles y limpieza, finalmente el 5% restante corresponden a tareas predictivas las cuales son realizadas en base a la experiencia que tienen los apoyos académicos sobre las máquinas.

Posteriormente de reconocer la situación actual, y continuando en el lineamiento de los objetivos específicos se debe definir la táctica de mantenimiento más adecuada en base al contexto operacional del taller, la cual se analiza mediante matriz de decisión, considerando cinco factores relevantes para la evaluación. Primero el marco estratégico del taller está definido íntegramente con respecto a la salud y seguridad de los trabajadores que allí desempeñan labores, por lo tanto es definido como el primer criterio a considerar, en segundo lugar la táctica debe implicar el menor impacto

ambiental posible, según lo definido por [35], además se considera el realizar un aporte en los conocimientos entregados dentro del taller, por lo que la táctica debe tomar en cuenta la opción de que el operador desempeñe labores de mantenimiento, el cuarto factor a considerar es el lineamiento con los objetivos estratégicos definidos para el taller y finalmente [16] menciona que todas las tácticas de mantenimiento utilizan distintas fuentes de información, por lo que se debe contrastar los recursos disponibles con los requeridos por la táctica. El resultado de la aplicación de la matriz de decisión con los factores definidos y las tácticas consideradas, indica que la estrategia que mejor se adecúa al contexto operacional corresponde a **RBM** por lo que los análisis posteriores se basarán en dicha táctica.

En base a la estrategia seleccionada, [25] plantea que se debe analizar el riesgo de cada proceso con el objetivo de jerarquizar los activos en planta, para ello se analizan cuatro modelos de definición de criticidad de activos y se analiza, mediante matriz de decisión por criterios absolutos el que mejor se ajusta tanto a los requerimientos de la táctica como al contexto operacional, en base a cinco criterios definidos como salud y seguridad del personal, cuidado del medio ambiente, ambos entregados por el marco estratégico del taller, en adición, se debe contrastar la información disponible con la utilizada por el modelo de criticidad, además se considera si la metodología utilizada cuantifica el riesgo debido a que este es el principal requerimiento definido por [25] para jerarquizar activos y finalmente el último factor determina si mediante la aplicación del método seleccionado resguarda el prestigio del taller. Con estos cinco criterios el modelo seleccionado para jerarquizar activos estará basado en riesgos, utilizando principalmente la norma ISO 31.000:2009, analizando el riesgo en salud y seguridad de cada proceso. Como resultado se obtiene que los activos más críticos, debido a los procesos realizados en ellos, corresponden a fresado, torneado, soldadura y afilado de herramientas y como semicritico se considera el rectificado metálico.

Una vez jerarquizados los activos [35] plantea que se deben elaborar planes de mantenimiento para las máquinas que representan mayor criticidad para la organización, sin embargo [42] plantea que previo a realizar planes preventivos se debe tener una base sólida de administración del trabajo para evitar errores operacionales y

paradas imprevistas. Es por esta razón que como sistema de administración se crea un formato de órdenes de trabajo de mantenimiento y un registro computacional de dichas órdenes para tener información concreta de las fallas presentadas y de los trabajos preventivos que posteriormente se planifican.

Finalmente, como ya se ha establecido una base sólida en la primera etapa del mantenimiento definida por [42] es posible avanzar a la elaboración de planes preventivos, sin embargo [21] establece que al no disponer de información confiable acerca del historial de fallas, exclusivamente se puede elaborar un plan de inspección rutinario en busca de necesidades de mantenimiento, lo cual se elabora utilizando una herramienta alternativa planteada por [35] que es **FMECA** para determinar los puntos críticos de las máquinas y establecer los controles necesarios. Una vez elaboradas las listas de inspección se avanza a la quinta etapa de la gestión del mantenimiento definida por [35] en donde se programa y planifica, a través de un plan matriz, las actividades de inspección que deben ser realizadas considerando principalmente las restricciones temporales de la organización, específicamente, los tiempos definidos para el desarrollo de cátedras regulares en el taller.

Con los procedimientos elaborados, se ha avanzado hasta la quinta etapa de un sistema de gestión de mantenimiento definido por [35], acorde al autor el sexto paso correspondería al control del trabajo y finalmente el séptimo paso al análisis del ciclo de vida de los componentes, lo cual se deja planteado para futuros trabajos de investigación.

# Anexo A

## A. Estructura Técnica de Objetos

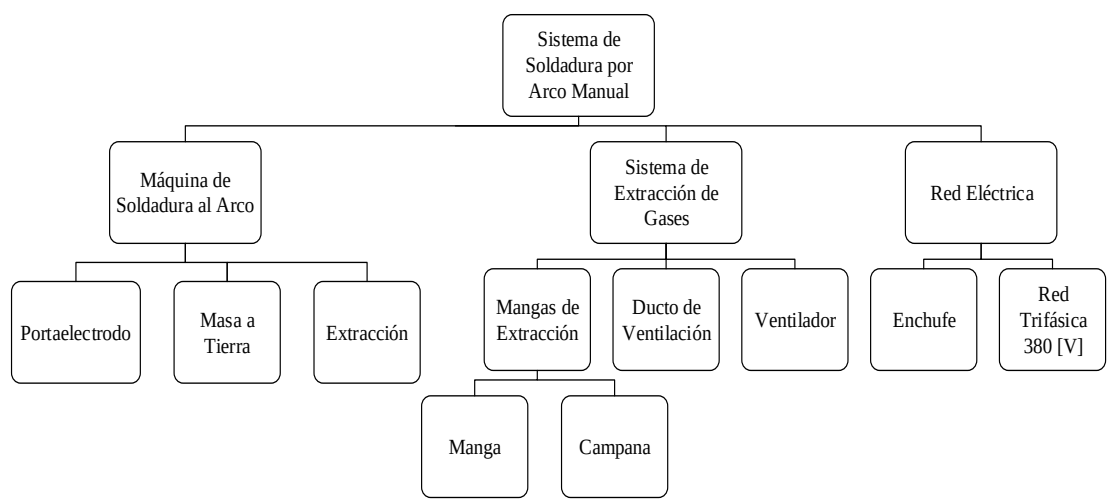


**Figura A-1:** Estructura Técnica de Sistema de Soldadura por Arco Manual  
**Fuente:** Elaboración Propia

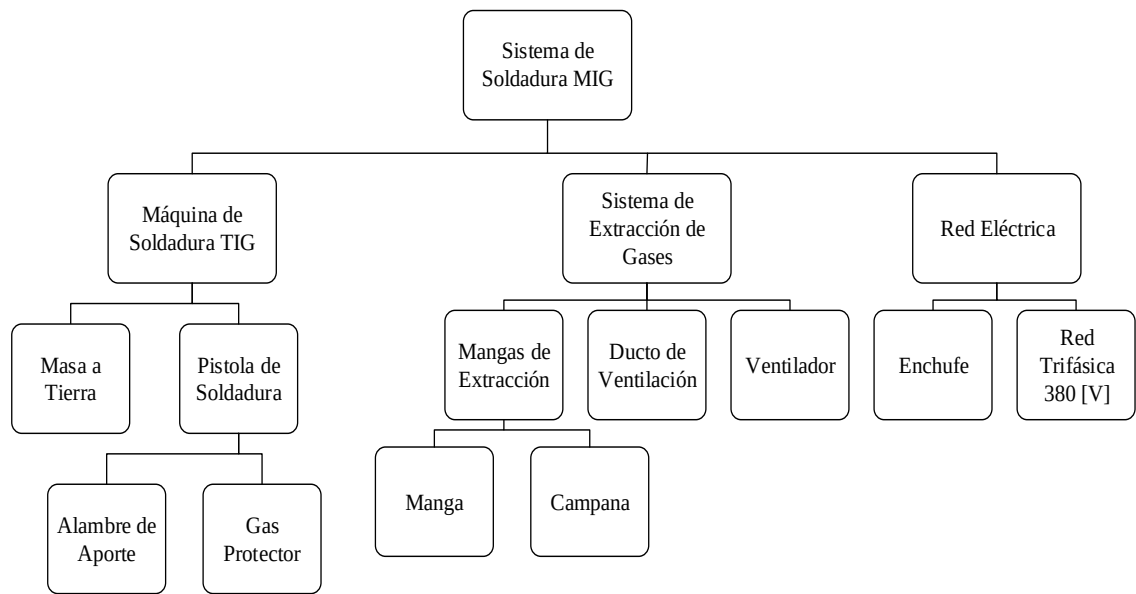


**Figura A-2:** Estructura Técnica de Sistema de Soldadura MIG

Fuente: Elaboración propia

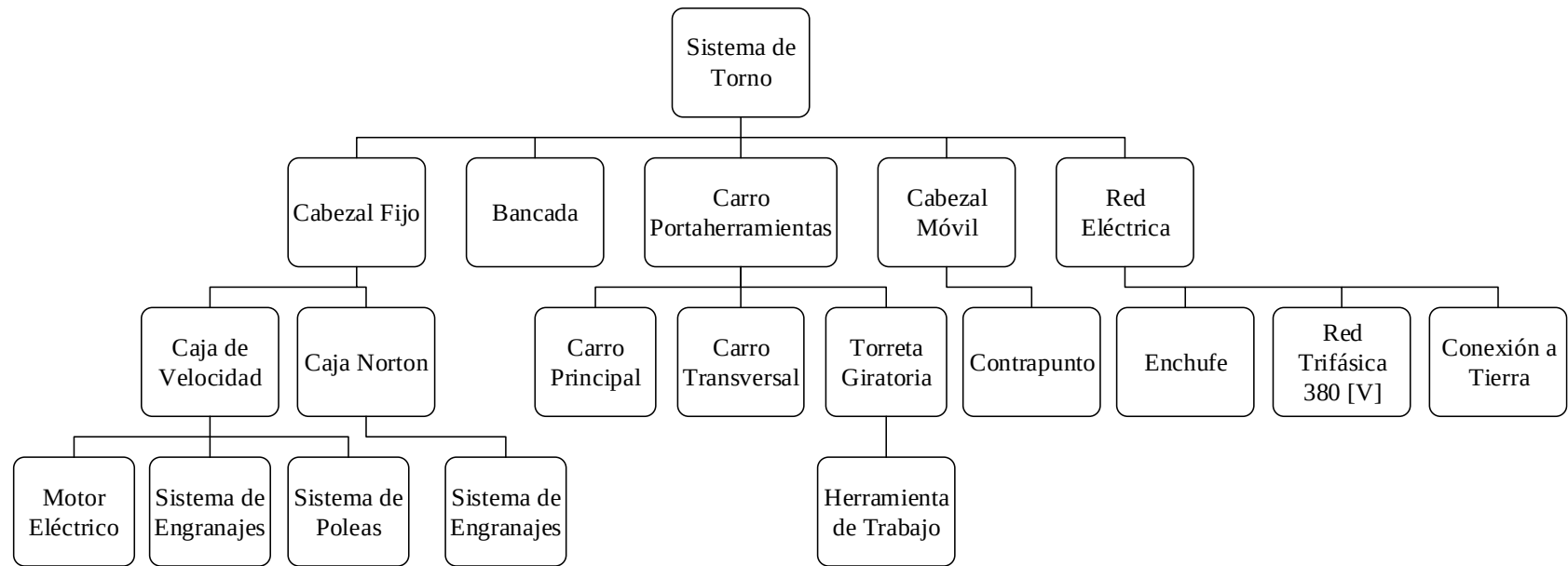


**Figura A-3:** Estructura Técnica de Sistema de Torno

**Fuente:** Elaboración Propia

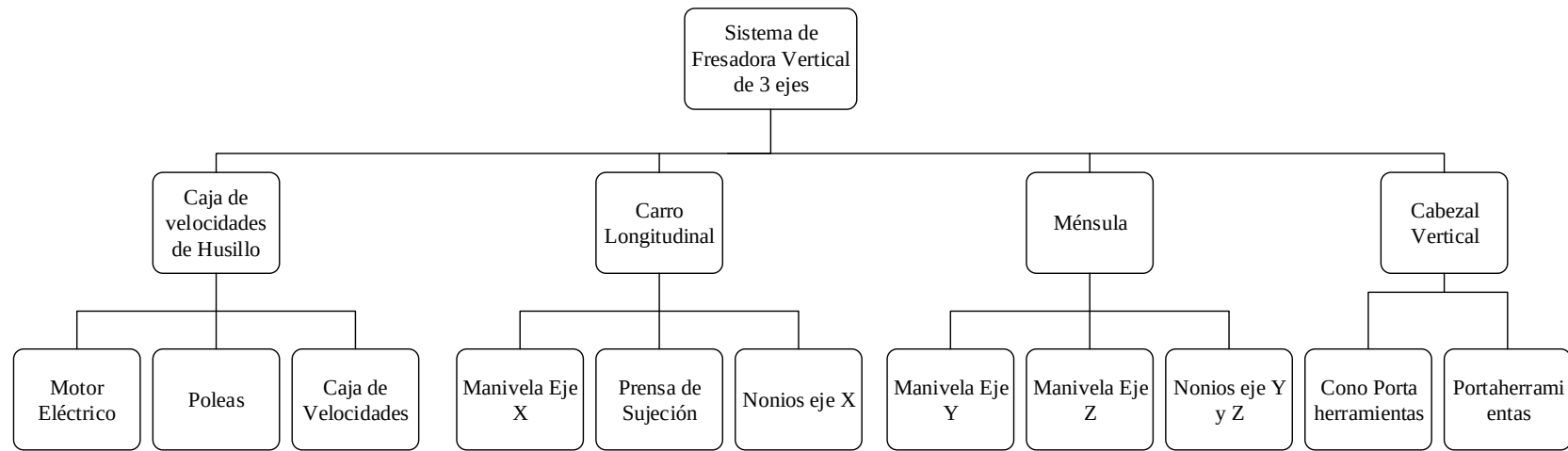


**Figura A-4:** Estructura Técnica de Sistema de Fresadora Vertical de 3 ejes

**Fuente:** Elaboración Propia

## **Anexo B**

### **B. Matrices de Riesgo**

**Tabla B-1:** Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                         |                                                          |                        |                                                                  |                                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| FRESADO                                    |                                         |                                                          |                        |                                                                  |                                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                  | Causa                                                    | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                                     | Mitigación                                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Metal Caliente                             | Quemaduras por proyección de Viruta     | Inversión de dirección de avance                         | 0,5                    | Quemaduras Corporales menores                                    | Concientización hacia los alumnos de trabajo seguro     | 10                  | 6          | 30               | Tolerable                |
|                                            |                                         | Inherente al trabajo de Fresado                          | 6                      | Quemaduras Corporales menores                                    | Uso de Ropa Adecuada para trabajo                       | 3                   | 6          | 108              | Moderado                 |
|                                            |                                         | Ausencia de gafas de seguridad                           | 0,1                    | Lesión Visual Permanente                                         | Gafas de Forma permanente y señalización                | 30                  | 6          | 18               | Aceptable                |
| Máquina de Trabajo, Actitud de Trabajo     | Atrapamiento de extremidad por Husillo  | Rotación propia del Husillo y aproximación de extremidad | 0,5                    | Lesión en extremidad, puede ser de gravedad e incluso amputación | Concientización del proceso realizado, cuidado personal | 30                  | 6          | 90               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo, Actitud de Trabajo     | Atrapamiento por Manivelas de dirección | Rotación propia de Manivelas de dirección                | 1                      | Lesión en extremidad, no considerado de gravedad                 | Desacople de Manivela mediante resorte                  | 10                  | 2          | 20               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Golpe por Manivela de dirección         | Inercia de Manivelas al activar avance automático        | 3                      | Golpe o Lesión en sector inferior del cuerpo                     | Desacople de Manivela mediante resorte                  | 3                   | 6          | 54               | Tolerable                |

**Tabla B-2:** Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (b)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín     |                                                           |                                                                        |                        |                                       |                                                         |                     |            |                  |                          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| FRESADO                                        |                                                           |                                                                        |                        |                                       |                                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                               | Riesgo                                                    | Causa                                                                  | Factor de Probabilidad | Consecuencia                          | Mitigación                                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Herramientas de Trabajo, Actitud de Trabajo    | Utilización de insertos altamente cortantes               | Acercamiento de extremidad superior a portaherramientas                | 1                      | Amputación de extremidades superiores | Concientización del proceso realizado, cuidado personal | 30                  | 6          | 180              | Moderado                 |
| Herramienta de Trabajo                         | Caída de Mesa de trabajo                                  | Falla en final de carrera de eje X                                     | 1                      | Aplastamiento de extremidad inferior  | No existe tarea de mitigación                           | 30                  | 6          | 180              | Moderado                 |
| Máquina de Trabajo                             | Choque de Mesa con herramienta de corte                   | Falla en final de carrera de eje Z, mala manipulación de usuario       | 1                      | Lesión Auricular                      | Cuidado personal                                        | 15                  | 3          | 45               | Tolerable                |
|                                                |                                                           |                                                                        |                        | Quemaduras corporales                 | No existe tarea de mitigación                           | 10                  | 3          | 30               | Tolerable                |
| Actitud de Trabajo                             | Golpes con partes de máquinas (en movimiento o estáticas) | Falta de señalización, descuido del personal                           | 3                      | Cabezazos y cortes con partes móviles | No existe tarea de mitigación                           | 3                   | 6          | 54               | Tolerable                |
| Conocimiento del proceso, Aptitud para trabajo | Proyección de Pieza                                       | Mala sujeción de pieza de trabajo, esfuerzo concentrado sobre la pieza | 0,5                    | Golpes y/o lesiones corporales        | No existe tarea de Mitigación                           | 3                   | 3          | 4,5              | Aceptable                |

**Tabla B-3:** Identificación de Factores de Riesgos relacionados con Salud del Personal en zona de Fresado (c)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico UTFSM,<br>San Joaquín |                                                  |                                                                   |                        |                                                 |                                                                 |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| FRESADO                                    |                                                  |                                                                   |                        |                                                 |                                                                 |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                           | Causa                                                             | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                    | Mitigación                                                      | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Proceso realizado                          | Proyección de Herramienta de corte               | Sobreesfuerzo en portaherramientas                                | 3                      | Cortes y/o quemaduras corporales                | Inspección Previa a clase                                       | 10                  | 3          | 90               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Contacto eléctrico directo                       | Desgaste en recubrimiento de cables                               | 0,1                    | Electrocución de más de una persona             | Conexión a tierra de máquina                                    | 100                 | 2          | 20               | Tolerable                |
| Accesorios de Trabajo                      | Caídas de herramientas o materiales desde altura | Descuido del personal                                             | 3                      | Golpes corporales menores                       | No existe tarea de Mitigación                                   | 1                   | 6          | 18               | Aceptable                |
| Accesorios de Trabajo                      | Caída en el mismo Nivel                          | Piso resbaladizo debido a lubricantes                             | 0,1                    | Golpes Corporales y/o cortes                    | Limpieza periódica al final de clase                            | 3                   | 2          | 0,6              | Aceptable                |
| Herramienta de Trabajo, Actitud de Trabajo | Atrapamiento por cabezal portaherramientas       | Rotación propia del cabezal y no tener el pelo debidamente tomado | 0,5                    | Atrapamiento de Pelo o desprendimiento del pelo | Concientización de los alumnos. Corrección de apoyos académicos | 15                  | 3          | 22,5             | Tolerable                |
| Carga Suspendida                           | Caída de Cabezal                                 | Falla en tuerca de izamiento                                      | 1                      | Lesión en extremidades                          | Inspección periódica de tuerca                                  | 10                  | 2          | 20               | Tolerable                |

**Tabla B-4:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín     |                                       |                                                                        |              |                                                                                |                              |                     |            |                  |                          |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Soldadura                                      |                                       |                                                                        |              |                                                                                |                              |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                               | Riesgo                                | Causa                                                                  | Probabilidad | Consecuencia                                                                   | Mitigación                   | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Máquina de Trabajo, Disposición Física Equipos | Contacto eléctrico directo            | Contacto con porta electrodo y masa                                    | 1            | Electrocución de una o más personas                                            | Concientización del alumno   | 50                  | 3          | 150              | Moderado                 |
|                                                |                                       | Desgaste en recubrimiento de cables                                    | 0,5          |                                                                                | Revisión periódica           |                     | 3          | 75               | Moderado                 |
|                                                |                                       | Contacto con porta electrodo y mal aislamiento de zapatos de seguridad | 1            |                                                                                | Concientización del alumno   |                     | 3          | 150              | Moderado                 |
| Gases Metálicos                                | Exposición a gases metálicos          | Escasa Ventilación                                                     | 6            | Ronquedad, sequedad de garganta, irritación ocular, bronquitis, carcinogénesis | Ventilación mecánica         | 30                  | 3          | 540              | Alto                     |
|                                                |                                       | Mala extracción de gases                                               | 3            |                                                                                | Extracción mecánica          |                     | 3          | 270              | Moderado                 |
| Elementos Incandescentes                       | Proyección de fragmentos o partículas | Proyección de Esquirlas calientes                                      | 1            | Quemadura corporal                                                             | Utilización de ropa adecuada | 3                   | 30         | 3                | Tolerable                |
| Metal Caliente                                 | Contacto térmico                      | Sujeción de Placa Caliente                                             | 3            | Quemadura de manos                                                             | Utilización de guantes       | 3                   | 3          | 9                | Aceptable                |

**Tabla B-5:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (b)

**Fuente:** Elaboración propia

| <b>Taller Metalmecánico<br/>UTFSM, San Joaquín</b> |                              |                                                                      |                     |                                                                        |                                                                     |                            |                   |                         |                                 |
|----------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>Soldadura</b>                                   |                              |                                                                      |                     |                                                                        |                                                                     |                            |                   |                         |                                 |
| <b>Factor de Riesgo</b>                            | <b>Riesgo</b>                | <b>Causa</b>                                                         | <b>Probabilidad</b> | <b>Consecuencia</b>                                                    | <b>Mitigación</b>                                                   | <b>Factor de Severidad</b> | <b>Exposición</b> | <b>Índice de Riesgo</b> | <b>Clasificación del Riesgo</b> |
| Elementos Incandescentes                           | Incendio                     | Proyección de esquirlas y contacto con elementos combustibles        | 1                   | Quemaduras corporales graves sobre un porcentaje importante del cuerpo | Concientización de alumno por disposición de elementos combustibles | 50                         | 3                 | <b>150</b>              | Moderado                        |
| Elementos Incandescentes                           | Explosiones                  | Proyección de esquirlas sobre elementos explosivos                   | 1                   | Lesión auricular, quemaduras e incluso más de una fatalidad            | Protección de elementos explosivos                                  | 100                        | 3                 | <b>300</b>              | Alto                            |
| Proceso realizado                                  | Incandescencia en metal      | Daño indirecto al observador de la actividad sin careta de soldadura | 3                   | Lesión Visual por arco eléctrico                                       | Concientización de alumno                                           | 15                         | 6                 | <b>270</b>              | Moderado                        |
| Accesorios de Trabajo                              | Factor de inicio de Incendio | Disposición de material combustible                                  | 3                   | Incendio con sus posteriores consecuencias                             | Estantes para disposición de material combustible                   | 15                         | 3                 | <b>135</b>              | Moderado                        |

**Tabla B-6:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Soldadura (c)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                         |                                                                      |              |                                  |                                            |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Soldadura                                  |                         |                                                                      |              |                                  |                                            |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                  | Causa                                                                | Probabilidad | Consecuencia                     | Mitigación                                 | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Proceso realizado                          | Sobrecarga postural     | Mala postura de Trabajo                                              | 1            | Lesión de Espalda                | Utilización de accesorios de trabajo       | 10                  | 3          | 30               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Exposición a Radiación  | Escasa protección corporal                                           | 0,5          | Infertilidad                     | Utilización de material protector          | 50                  | 3          | 75               | Tolerable                |
| Proceso realizado                          | Caída en el mismo nivel | Precipitación de polvo metálico                                      | 6            | Lesión corporal y/o corte        | Limpieza periódica de zona de trabajo      | 3                   | 6          | 108              | Moderado                 |
| Accesorios de Trabajo                      | Incandescencia en metal | Mal funcionamiento de máscara de soldadura (polvo, pilas, ralladura) | 1            | Lesión Visual por arco eléctrico | Revisión periódica de máscara de soldadura | 15                  | 3          | 45               | Tolerable                |

**Tabla B-7:** Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (a)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                         |                                                               |              |                                                                                         |                                                           |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Torneado                                   |                                         |                                                               |              |                                                                                         |                                                           |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                  | Causa                                                         | Probabilidad | Consecuencia                                                                            | Mitigación                                                | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Metal Caliente                             | Quemadura debido a proyección de viruta | Proceso de torneado                                           | 10           | Quemaduras corporales menores                                                           | Utilización de ropa de trabajo adecuada                   | 10                  | 3          | 300              | Alto                     |
| Máquina de Trabajo                         | Atrapamiento de extremidad              | Movimiento de barra de cilindrar, atrapamiento de ropa        | 1            | Lesión en extremidad, amputación e incluso fatalidad de operario                        | Utilización de ropa de trabajo adecuada y concientización | 50                  | 3          | 150              | Moderado                 |
| Máquina de Trabajo                         | Atrapamiento de extremidad              | Acercamiento de mano al plato                                 | 0,5          | Lesión, desgarramiento, amputación, fractura en extremidad e incluso muerte de operario | Concientización del alumno                                | 50                  | 6          | 150              | Moderado                 |
| Máquina de Trabajo                         | Aplastamiento de extremidad             | Movimiento del contrapunto y posicionamiento de mano en plato | 0,5          | Lesión y/o en fractura extremidad                                                       | No existe tarea de mitigación                             | 30                  | 6          | 90               | Tolerable                |

**Tabla B-8:** Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (b)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                              |                                           |              |                                                            |                               |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Torneado                                   |                                              |                                           |              |                                                            |                               |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                       | Causa                                     | Probabilidad | Consecuencia                                               | Mitigación                    | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Proceso realizado                          | Caída en el mismo nivel                      | Tropezco con objetos en el piso           | 0,5          | Golpes y/o cortes corporales menores                       | No existe tarea de mitigación | 3                   | 3          | 4,5              | Aceptable                |
|                                            |                                              | Resbalamiento por presencia de lubricante | 0,5          |                                                            | Limpieza periódica de Taller  | 3                   | 3          | 4,5              | Aceptable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de objetos (pieza a tornear)      | Mala sujeción de pieza a tornear          | 0,5          | Golpes y/o lesiones corporales incluso de gravedad         | No existe tarea de Mitigación | 15                  | 3          | 22,5             | Tolerable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de objetos (herramienta de corte) | Mal apriete de herramienta de corte       | 0,5          | Golpes, lesiones y/o cortes corporales incluso de gravedad | No existe tarea de Mitigación | 15                  | 3          | 22,5             | Tolerable                |

**Tabla B-9:** Identificación de Factores de riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Torneado (c)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                          |                                                      |              |                                                          |                             |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Torneado                                   |                                          |                                                      |              |                                                          |                             |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                   | Causa                                                | Probabilidad | Consecuencia                                             | Mitigación                  | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Actitud de Trabajo                         | Contacto con herramienta de corte        | Medición de Pieza                                    | 3            | Herida o corte en mano                                   | Concientización del alumno  | 10                  | 6          | <b>180</b>       | Moderado                 |
| Máquina de Trabajo                         | Contacto eléctrico directo               | Cables expuestos debido a recubrimientos desgastados | 0,5          | Electrocución que puede resultar en más de una fatalidad | Conexión a tierra del Torno | 100                 | 2          | <b>100</b>       | Moderado                 |
| Actitud de trabajo                         | Corte por virutas largas                 | Inherente al proceso de torneado                     | 3            | Amputación de dedos o falanges                           | Concientización del alumno  | 30                  | 3          | <b>270</b>       | Moderado                 |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de objetos (Llave de apriete) | Proyección de Llave de apriete                       | 0,5          | Lesiones corporales menores                              | Concientización del alumno  | 3                   | 6          | <b>9</b>         | Aceptable                |

**Tabla B-10:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Esmerilado (a)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico UTFSM,<br>San Joaquín |                                         |                                                     |              |                                    |                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Afilado de Herramientas                    |                                         |                                                     |              |                                    |                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                  | Causa                                               | Probabilidad | Consecuencia                       | Mitigación                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Herramienta de Trabajo                     | Contacto con elementos abrasivo         | Inherente al proceso                                | 6            | Quemaduras, heridas y cortes       | Concientización del alumno              | 10                  | 2          | 120              | Moderado                 |
| Elementos Incandescentes                   | Proyección de partículas incandescentes | Inherente al trabajo                                | 6            | Quemaduras y/o heridas en rostro   | Utilización de ropa de trabajo adecuada | 10                  | 2          | 120              | Moderado                 |
|                                            |                                         | No llevar gafas de protección                       | 0,5          | Lesión Visual                      | Supervisión continua de apoyo académico | 30                  | 2          | 30               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Atrapamiento de mano                    | Descuido del usuario                                | 1            | Lesión y/o fractura en extremidad  | Concientización del alumno              | 30                  | 2          | 60               | Tolerable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de Partículas                | Desprendimiento de fragmentos de piedra por mal uso | 0,5          | Lesión, heridas o cortes en rostro | Concientización del alumno              | 15                  | 2          | 15               | Aceptable                |
|                                            |                                         | Fractura de piedra por sobreesfuerzo                | 0,1          |                                    | No existe tarea de mitigación           | 15                  | 2          | 30               | Tolerable                |

**Tabla B-11:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Esmerilado (b)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                   |                                            |              |                                                 |                                             |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Afilado de Herramientas                    |                                   |                                            |              |                                                 |                                             |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                            | Causa                                      | Probabilidad | Consecuencia                                    | Mitigación                                  | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de fragmentos de muela | Rotura de Piedra por sobreesfuerzo         | 0,5          | Lesión de gravedad incluso más de una fatalidad | No existe tarea de mitigación               | 100                 | 2          | 100              | Moderado                 |
|                                            |                                   | Rotura de Piedra por atascamiento de metal | 0,5          |                                                 | No existe tarea de mitigación               | 100                 | 2          | 100              | Moderado                 |
| Polvo Metálico                             | Exposición a Polvos Metálicos     | Inherente al Proceso                       | 6            | Ronquedad, carcinogénesis, irritación ocular    | No existe tarea de Mitigación               | 50                  | 1          | 300              | Alto                     |
| Polvo Metálico                             | Caída en el mismo nivel           | Polvo metálico acumulado en piso           | 3            | Lesión corporal                                 | Limpieza periódica de zona de trabajo       | 10                  | 2          | 60               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Contacto eléctrico directo        | Desgaste de cables                         | 3            | Electrocución puede resultar en fatalidad       | Revisión periódica de conexiones eléctricas | 100                 | 1          | 300              | Alto                     |
| Máquina de Trabajo                         | Exposición a ruidos               | Inherente al proceso                       | 6            | Lesión auricular                                | No existe tarea de Mitigación               | 30                  | 1          | 180              | Moderado                 |

**Tabla B-12:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Taladrado (a)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                |                                                                  |                        |                                                  |                                                                    |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Taladrado                                  |                                |                                                                  |                        |                                                  |                                                                    |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                         | Causa                                                            | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                     | Mitigación                                                         | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Máquina de Trabajo                         | Contacto Eléctrico directo     | Cables en mal estado                                             | 0,5                    | Fatalidad de más de una persona                  | Inspección periódica de estado de conexiones                       | 100                 | 2          | <b>100</b>       | Moderado                 |
| Herramienta de Trabajo                     | Contacto con la broca caliente | Acercamiento de extremidad a broca luego de proceso de taladrado | 1                      | Quemaduras corporales leves en una zona reducida | Concientización del alumno                                         | 3                   | 2          | <b>6</b>         | Aceptable                |
| Proceso Realizado                          | Proyección de viruta           | Inherente al proceso realizado                                   | 6                      | Quemaduras corporales en zonas reducidas         | Utilización de ropa de trabajo adecuada                            | 3                   | 2          | <b>18</b>        | Aceptable                |
|                                            |                                | Ausencia de gafas de seguridad                                   | 0,1                    | Lesión ocular producto de quemadura              | Utilización de gafas de seguridad y supervisión de apoyo académico | 30                  | 2          | <b>6</b>         | Aceptable                |
| Proceso Realizado                          | Atrapamiento de extremidad     | Utilización de ropa inadecuada de trabajo                        | 1                      | Lesión corporal menor                            | Revisión de apoyo académico                                        | 10                  | 2          | <b>20</b>        | Tolerable                |
| Proceso Realizado                          | Exposición a ruidos            | Inherente al trabajo de taladrado                                | 6                      | Lesión auricular menor                           | No existe tarea de Mitigación                                      | 3                   | 2          | <b>36</b>        | Tolerable                |

**Tabla B-13:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Taladrado (b)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                          |                                      |                        |                                      |                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Taladrado                                  |                          |                                      |                        |                                      |                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                   | Causa                                | Factor de Probabilidad | Consecuencia                         | Mitigación                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Accesorios de Trabajo                      | Caídas en el mismo nivel | Presencia de elementos refrigerantes | 3                      | Golpes corporales menores y/o cortes | Limpieza constante de puesto de trabajo | 3                   | 2          | 18               | Aceptable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de Broca      | Mala sujeción de la broca            | 1                      | Golpes o cortes corporales           | Revisión constante de apoyo académico   | 10                  | 2          | 20               | Tolerable                |
|                                            |                          | Inadecuada selección de la broca     | 0,1                    |                                      | No existe tarea de Mitigación           | 10                  | 2          | 2                | Aceptable                |

**Tabla B-14:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Rectificado (a)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                   |                                         |                        |                                               |                                              |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| RECTIFICADO                                |                                   |                                         |                        |                                               |                                              |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                            | Causa                                   | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                  | Mitigación                                   | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de fragmentos de muela | Sobre esfuerzo en la piedra             | 1                      | Lesiones Graves e incluso fatalidad           | Elementos de protección propios de máquina   | 100                 | 1          | 100              | Moderado                 |
|                                            |                                   | Velocidad excesiva de elemento abrasivo | 0,5                    |                                               |                                              |                     | 1          | 50               | Tolerable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Proyección de objetos             | Mala sujeción de la pieza               | 1                      | Lesión Graves e incluso fatalidad             | No existe tarea de Mitigación                | 100                 | 1          | 100              | Moderado                 |
| Máquina de Trabajo                         | Atrapamiento                      | Utilización de prendas no adecuadas     | 0,5                    | Lesión de gravedad en extremidad              | Utilización de prendas de trabajo adecuadas  | 50                  | 1          | 25               | Tolerable                |
| Polvo Metálico                             | Exposición a polvos metálicos     | Inherente al proceso de Rectificado     | 6                      | Carcinogénesis, ronquedad e irritación ocular | No existe tarea de mitigación                | 50                  | 1          | 300              | Alto                     |
| Polvo Metálico                             | Caída en el mismo nivel           | Acumulación de Polvo metálico           | 3                      | Golpes corporales                             | Tareas de Limpieza y aseo en zona de trabajo | 3                   | 1          | 9                | Aceptable                |

**Tabla B-15:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Rectificado (b)

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico UTFSM,<br>San Joaquín |                                      |                                     |                        |                                 |                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| RECTIFICADO                                |                                      |                                     |                        |                                 |                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                               | Causa                               | Factor de Probabilidad | Consecuencia                    | Mitigación                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Máquina de Trabajo                         | Contacto eléctrico directo           | Exposición de cables conductores    | 0,5                    | Fatalidad de más de una persona | Conexión a tierra de máquina            | 100                 | 1          | 50               | Tolerable                |
| Accesorios de Trabajo                      | Proyección de refrigerante al cuerpo | Inherente al proceso de rectificado | 3                      | Quemaduras corporales           | Utilización de ropa de trabajo adecuada | 10                  | 1          | 30               | Tolerable                |

**Tabla B-16:** Identificación de Factores de Riesgo relacionado con Salud del Personal en zona de Sierra de Huincha

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                   |                                               |              |                                          |                                               |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Sierra de Huincha                          |                                   |                                               |              |                                          |                                               |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                            | Causa                                         | Probabilidad | Consecuencia                             | Mitigación                                    | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del Riesgo |
| Polvos Metálicos                           | Inhalación de Polvos metálicos    | Desprendimiento de polvo producto del trabajo | 6            | Carcinogénesis, Irritación nasal         | Utilización de Elementos refrigerantes        | 15                  | 1          | 90               | Tolerable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Cortes corporales                 | Mala utilización de máquina de trabajo        | 1            | Cortes amputaciones o de falanges        | No existe tarea de Mitigación                 | 30                  | 1          | 30               | Tolerable                |
| Herramienta de Trabajo                     | Rotura de Huincha                 | Excesiva tensión en la cinta                  | 1            | Cortes corporales e incluso fatalidad    | Inspección continua de tensión                | 50                  | 1          | 50               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Caída de Brazo                    | Pérdida de Presión de fluido hidráulico       | 1            | Cortes corporales o lesiones de gravedad | Inspección continua de fluido presión         | 50                  | 2          | 100              | Moderado                 |
| Polvo Metálico                             | Caída en el mismo nivel           | Inherente al proceso de trabajo               | 6            | Golpes corporales y/o cortes             | No existe tarea de Mitigación                 | 10                  | 1          | 60               | Tolerable                |
| Accesorio de Trabajo                       | Salpicadura de líquido hidráulico | Inherente al proceso de corte de metal        | 3            | Quemadura corporales                     | Utilización de ropa adecuada                  | 10                  | 1          | 30               | Tolerable                |
|                                            |                                   |                                               | 0,5          | Lesiones Oculares                        | Señalización de elementos seguridad adecuados | 50                  | 1          | 25               | Tolerable                |

**Tabla B-17:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Soldadura

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín  |                                      |                                                       |                        |                                                                                               |                                                                      |                     |            |                  |                          |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| SOLDADURA                                   |                                      |                                                       |                        |                                                                                               |                                                                      |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                            | Riesgo                               | Causa                                                 | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                                                                  | Mitigación                                                           | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Elementos Incandescentes                    | Incendio                             | Esquirlas en contacto con elementos combustibles      | 1                      | Contaminación atmosférica mayor, debido a la combustión de sustancias altamente contaminantes | Concientización del alumno por disposición de elementos combustibles | 30                  | 2          | 60               | Tolerable                |
| Elementos Incandescentes                    | Explosiones                          | Proyección de esquirlas sobre elementos explosivos    | 0,5                    | Contaminación atmosférica mayor, debido a la combustión de sustancias altamente contaminantes | Aislamiento de materiales explosivos de la zona de soldadura         | 30                  | 3          | 45               | Tolerable                |
| Proceso realizado/ Gases y/o Polvo Metálico | Emanación de gases contaminantes     | Utilización de electrodos en soldadura de arco manual | 6                      | Contaminación atmosférica a corto plazo                                                       | No existe tarea de mitigación                                        | 10                  | 6          | 360              | Alto                     |
| Accesorios de Trabajo                       | Disposición de electrodos utilizados | No existe un sistema de disposición de desechos       | 6                      | Contaminación en zona localizada                                                              | Generación de sistema de disposición de residuos                     | 3                   | 10         | 180              | Moderado                 |

**Tabla B-18:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Fresado

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                       |                                                             |                        |                                                                       |                                                                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| FRESADO                                    |                                       |                                                             |                        |                                                                       |                                                                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                | Causa                                                       | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                                          | Mitigación                                                                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Máquina de Trabajo                         | Disposición de aceites lubricantes    | Procesos de mantenimiento o preventivo                      | 6                      | Contaminación de zonas específicas del taller                         | Disposición de aceites para posterior tratamiento el Laboratorios de Ingeniería Química | 10                  | 1          | 60               | Tolerable                |
| Proceso Realizado                          | Disposición de viruta seca residual   | No existe un sistema de disposición de desechos             | 10                     | Contaminación acotada a un sector del taller                          | No existe tarea de mitigación                                                           | 3                   | 3          | 90               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Disposición de insertos cortantes     | No está considerado dentro de los procesos de mantenimiento | 10                     | No representa una contaminación mayor                                 | No existe tarea de mitigación                                                           | 1                   | 10         | 100              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Disposición de viruta húmeda residual | Inherente al trabajo de Fresado                             | 6                      | Generación de Residuo Peligroso debido a utilización de refrigerantes | No existe tarea de mitigación                                                           | 10                  | 3          | 180              | Moderado                 |

**Tabla B-19:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Fresado

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                                      |                                                             |                        |                                                                       |                                                                                         |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Torneado                                   |                                                      |                                                             |                        |                                                                       |                                                                                         |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                               | Causa                                                       | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                                          | Mitigación                                                                              | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Máquina de Trabajo                         | Disposición de aceites lubricantes                   | Procesos de mantenimiento preventivo                        | 6                      | Contaminación de zonas específicas del taller                         | Disposición de aceites para posterior tratamiento el Laboratorios de Ingeniería Química | 10                  | 1          | 60               | Tolerable                |
| Proceso Realizado                          | Disposición de viruta seca residual                  | No existe un sistema de disposición de desechos             | 10                     | Contaminación acotada a un sector del taller                          | No existe tarea de mitigación                                                           | 3                   | 3          | 90               | Tolerable                |
| Máquina de Trabajo                         | Disposición de herramientas de corte de acero rápido | No está considerado dentro de los procesos de mantenimiento | 10                     | No representa una contaminación mayor                                 | No existe tarea de mitigación                                                           | 1                   | 10         | 100              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Disposición de viruta húmeda residual                | Inherente al trabajo de Fresado                             | 6                      | Generación de Residuo Peligroso debido a utilización de refrigerantes | No existe tarea de mitigación                                                           | 10                  | 3          | 180              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Disposición de refrigerante (Solvac 1535)            | Inherente al proceso de Fresado                             | 3                      | Contaminación localizada en la máquina y/o evaporación del producto   | No existe tarea de mitigación                                                           | 10                  | 3          | 90               | Tolerable                |

**Tabla B-20:** Identificación de factores de Riesgo medioambientales en zona de Afilado de Herramientas

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                                     |                                                     |                        |                                                                                        |                                       |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Afilado de Herramientas                    |                                                     |                                                     |                        |                                                                                        |                                       |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                              | Causa                                               | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                                                           | Mitigación                            | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Polvo Metálico                             | Generación de Polvo Metálico (Herramienta de corte) | Inherente al proceso de Afilado                     | 10                     | Contaminación en un área reducida del Taller                                           | Limpieza Periódica de zona de trabajo | 3                   | 2          | 60               | Tolerable                |
| Polvo Metálico                             | Generación de Polvo Metálico (Muela)                | Inherente al proceso de Afilado                     | 10                     | Contaminación en un área reducida del Taller                                           | Limpieza Periódica de zona de trabajo | 3                   | 2          | 60               | Tolerable                |
| Proceso Realizado                          | Generación de Agua contaminada                      | Utilización de agua como refrigerante en el proceso | 10                     | Contaminación en espacio reducido, que de no ser tratada puede generar agentes nocivos | No existe tarea de Mitigación         | 10                  | 2          | 200              | Moderado                 |

**Tabla B-21:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Rectificado

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico UTFSM,<br>San Joaquín |                                        |                                                  |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Rectificado                                |                                        |                                                  |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                 | Causa                                            | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                   | Mitigación                    | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Accesorio de Trabajo                       | Generación de Refrigerante Contaminado | Inherente al proceso realizado                   | 10                     | Contaminación mayor producto de no ser tratado | No existe tarea de Mitigación | 15                  | 1          | 150              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Generación de polvos metálicos húmedos | Inherente al proceso realizado                   | 10                     | Contaminación Mayor a largo plazo              | No existe Tarea de Mitigación | 15                  | 1          | 150              | Moderado                 |
| Polvo Metálico                             | Generación de Polvo Metálico (Muela)   | Desgaste de Muela producto del trabajo realizado | 10                     | Contaminación menor                            | No existe tarea de Mitigación | 3                   | 1          | 30               | Tolerable                |

**Tabla B-22:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Sierra de Huincha

**Fuente:** Elaboración propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                        |                                       |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Sierra de Huincha                          |                                        |                                       |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
| Factor de Riesgo                           | Riesgo                                 | Causa                                 | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                   | Mitigación                    | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Accesorio de Trabajo                       | Generación de Refrigerante Contaminado | Inherente al proceso realizado        | 10                     | Contaminación mayor producto de no ser tratado | No existe tarea de Mitigación | 15                  | 1          | 150              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Generación de Viruta húmeda            | Inherente al proceso realizado        | 10                     | Contaminación local                            | No existe tarea de Mitigación | 10                  | 1          | 100              | Moderado                 |
| Herramienta de Trabajo                     | Disposición de herramienta de corte    | No existe gestión de residuo generado | 1                      | Contaminación en una zona específica           | No existe tarea de Mitigación | 3                   | 1          | 3                | Aceptable                |

**Tabla B-23:** Identificación de factores de Riesgos Medioambientales en zona de Taladrado

**Fuente:** Elaboración Propia

| Taller Metalmecánico<br>UTFSM, San Joaquín |                                        |                                       |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Taladrado                                  |                                        |                                       |                        |                                                |                               |                     |            |                  |                          |
| FACTOR DE RIESGO                           | RIESGO                                 | CAUSA                                 | Factor de Probabilidad | Consecuencia                                   | Mitigación                    | Factor de Severidad | Exposición | Índice de Riesgo | Clasificación del riesgo |
| Accesorio de Trabajo                       | Generación de Refrigerante Contaminado | Inherente al proceso realizado        | 10                     | Contaminación mayor producto de no ser tratado | No existe tarea de Mitigación | 15                  | 1          | 150              | Moderado                 |
| Proceso Realizado                          | Generación de Viruta húmeda            | Inherente al proceso realizado        | 10                     | Contaminación local                            | No existe tarea de Mitigación | 10                  | 1          | 100              | Moderado                 |
| Herramienta de Trabajo                     | Disposición de broca                   | No existe gestión de residuo generado | 1                      | Contaminación en una zona específica           | No existe tarea de Mitigación | 3                   | 1          | 3                | Aceptable                |
| Proceso Realizado                          | Generación de Humo                     | Evaporación de refrigerante           | 6                      | Contaminación en zona específica               | No existe tarea de Mitigación | 10                  | 1          | 60               | Moderado                 |

## **Anexo C**

### **C. Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad de los activos críticos para determinar las necesidades de mantenimiento**

**Tabla C-1:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Bancada de Torno)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad</b> |                               |                      |                                                    |                                                                                                      |                                                                                               |          |          |                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                      |                                                    |                                                                                                      |                                                                                               |          |          |                                                                                                                                                 |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                      | <b>Función:</b>                                    | <b>Subsistema</b>                                                                                    | <b>Función Subsistema</b>                                                                     |          |          |                                                                                                                                                 |
| <b>Torno</b>                                          |                               |                      | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución | <b>Bancada</b>                                                                                       | Soporte para las herramientas del torno. Guía para cabezal móvil y el carro portaherramientas |          |          |                                                                                                                                                 |
| <b>Nº</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b> | <b>Causa de Falla</b>                              | <b>Efecto</b>                                                                                        | <b>Criticidad</b>                                                                             |          |          | <b>Tarea de Mantenimiento</b>                                                                                                                   |
|                                                       |                               |                      |                                                    |                                                                                                      | <b>P</b>                                                                                      | <b>S</b> | <b>C</b> |                                                                                                                                                 |
| 1                                                     | Carro Portaherramientas       | Atascamiento         | Presencia de Viruta                                | Desplazamiento forzado del carro principal generando cilindrado incorrecto y errores de mecanizado   | 10                                                                                            | 10       | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de Viruta</li> <li>• Inspección visual de presencia de objetos externos en bancada</li> </ul> |
| 2                                                     | Carro Principal               | Deslizamiento        | Desgaste de carro principal                        | Deslizamiento frenado del carro principal, imperfecciones de mecanizado e incorrecto cilindrado      | 10                                                                                            | 6        | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de Viruta</li> <li>• Lubricación adecuada para prevenir el desgaste</li> </ul>                |
| 3                                                     | Carro Transversal             | Atascamiento         | Presencia de Viruta                                | Desplazamiento forzado del carro transversal generando refrentado incorrecto y errores de mecanizado | 10                                                                                            | 5        | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de Viruta</li> <li>• Lubricación en puntos designados</li> </ul>                              |
| 4                                                     | Contrapunto                   | Atascamiento         | Presencia de Viruta                                | Avance forzado de contrapunto, errores de sujeción y mecanizado                                      | 10                                                                                            | 10       | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta</li> <li>• Inspección visual de presencia de objetos extraños</li> </ul>            |
| 5                                                     |                               | Caída                | Desgaste de guías de carro principal               | Fallas de mecanizado, proyección de pieza de trabajo                                                 | 10                                                                                            | 20       | A        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación adecuada</li> <li>• Limpieza de viruta</li> </ul>                                          |

**Tabla C-2:** Análisis de Modo de Falla, efecto y criticidad en Torno (Cabezal Fijo de Torno) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                                                 |                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                  |     |   |                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                                                 |                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                  |     |   |                                                                                                                                                     |
| Activo Físico                                  |                        |                                                 | Función:                                                                                                                 | Subsistema                                                                                                                               | Función Subsistema                                                                                                               |     |   |                                                                                                                                                     |
| Torno                                          |                        |                                                 | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                                                                       | Cabezal Fijo                                                                                                                             | Contiene el sistema que entrega el movimiento rotativo a la pieza de trabajo a través de engranajes, poleas y un motor eléctrico |     |   |                                                                                                                                                     |
| N°                                             | Conjunto o componente  | Modo de Falla                                   | Causa de Falla                                                                                                           | Efecto                                                                                                                                   | Criticidad                                                                                                                       |     |   | Tarea de Mantenimiento                                                                                                                              |
|                                                |                        |                                                 |                                                                                                                          |                                                                                                                                          | P                                                                                                                                | S   | C |                                                                                                                                                     |
| 1                                              | Correas de Transmisión | No hay movimiento rotativo del plato            | Correas de Transmisión suelta, floja o estirada                                                                          | No existe transmisión de movimiento                                                                                                      | 6                                                                                                                                | 100 | A | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de Correa</li> <li>• Ajuste de Poleas</li> <li>• Inspección Visual</li> </ul>                       |
| 2                                              |                        |                                                 | Desgaste de poleas                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe transmisión de movimiento</li> <li>• Motor eléctrico dañado por sobrecarga</li> </ul> | 3                                                                                                                                | 100 | B | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación de Poleas</li> <li>• Ajuste de Poleas</li> <li>• Reemplazo de Poleas</li> </ul>                |
| 3                                              | Engranajes             | No existe variación en la velocidad de rotación | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste de engranes</li> <li>• Fractura de dientes de rueda dentada</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de mecanizado</li> <li>• Errores en operación de torneado</li> </ul>                  | 10                                                                                                                               | 10  | B | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación correcta de engranajes</li> </ul>                                                              |
| 4                                              |                        | No existe movimiento rotativo del plato         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexión de eje</li> <li>• Sobreesfuerzo en engranaje</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe transmisión de movimiento</li> <li>• Fractura de dientes en rueda dentada</li> </ul>  | 3                                                                                                                                | 100 | A | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar cambios de revoluciones durante el trabajo</li> <li>• Lubricación correcta de engranajes</li> </ul> |

**Tabla C-3:** Análisis de Modo de Falla, efecto y criticidad en Torno (Cabezal Fijo de Torno) (b)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                                         |                                                                                          |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                  |          |          |                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                                         |                                                                                          |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                  |          |          |                                                                                                                                             |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                                         | <b>Función:</b>                                                                          | <b>Subsistema</b>                                                                                                                               | <b>Función Subsistema</b>                                                                                                        |          |          |                                                                                                                                             |
| <b>Torno</b>                                          |                               |                                         | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                                       | <b>Cabezal Fijo</b>                                                                                                                             | Contiene el sistema que entrega el movimiento rotativo a la pieza de trabajo a través de engranajes, poleas y un motor eléctrico |          |          |                                                                                                                                             |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b>                    | <b>Causa de Falla</b>                                                                    | <b>Efecto</b>                                                                                                                                   | <b>Criticidad</b>                                                                                                                |          |          | <b>Tarea de Mantenimiento</b>                                                                                                               |
|                                                       |                               |                                         |                                                                                          |                                                                                                                                                 | <b>P</b>                                                                                                                         | <b>S</b> | <b>C</b> |                                                                                                                                             |
| 5                                                     | Motor Eléctrico               | No existe movimiento rotativo del plato | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bobinado dañado</li> <li>Eje bloqueado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>No se inicia el movimiento del eje principal</li> </ul>                                                  | 3                                                                                                                                | 100      | B        | Mantenimiento correctivo a la falla del motor: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo</li> <li>Rebobinado</li> </ul>              |
| 6                                                     |                               | No existe movimiento del eje principal  | Desgaste de rodamientos                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bloqueo del eje</li> <li>Motor eléctrico dañado por sobrecarga</li> </ul>                                | 3                                                                                                                                | 100      | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de rodamientos</li> <li>Lubricación de rodamientos</li> </ul>                              |
| 7                                                     | Rodamientos                   | No existe movimiento rotativo del Plato | Desgaste de rodamientos                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desviación de movimiento del eje debido a torsión</li> <li>Ruido</li> <li>Generación de calor</li> </ul> | 1                                                                                                                                | 100      | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de Rodamientos</li> <li>Lubricación de Rodamientos</li> <li>Reemplazo de aceite</li> </ul> |
| 8                                                     |                               |                                         | Escasa Lubricación de Rodamientos                                                        | Exceso de fricción de rodamientos                                                                                                               | 1                                                                                                                                | 20       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de aceite</li> <li>Lubricación de rodamientos</li> </ul>                                   |

**Tabla C-4:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Caja Norton de Velocidad de avance) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                                                 |                                                                                                          |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                     |    |   |                                                                                                                  |
|------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                                                 |                                                                                                          |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                     |    |   |                                                                                                                  |
| Activo Físico                                  |                        |                                                 | Función:                                                                                                 | Subsistema                                                                                                                                             | Función Subsistema                                                                                                                  |    |   |                                                                                                                  |
| Torno                                          |                        |                                                 | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                                                       | Caja de Avance automático o Caja Norton                                                                                                                | Entrega la velocidad de avance de la herramienta de corte, está compuesta por un sistema de engranaje, un tornillo patrón y poleas. |    |   |                                                                                                                  |
| Nº                                             | Conjunto o componentes | Modo de Falla                                   | Causa de Falla                                                                                           | Efecto                                                                                                                                                 | Criticidad                                                                                                                          |    |   | Tarea de Mantenimiento                                                                                           |
|                                                |                        |                                                 |                                                                                                          |                                                                                                                                                        | P                                                                                                                                   | S  | C |                                                                                                                  |
| 1                                              | Caja de Velocidades    | No existe avance automático del carro principal | Desgaste de engranajes de transmisión                                                                    | No se transmite movimiento de Caja de velocidades a Caja Norton                                                                                        | 2                                                                                                                                   | 50 | B | <ul style="list-style-type: none"><li>Lubricación periódica</li><li>Inspección de Lubricantes</li></ul>          |
| 2                                              | Husillo de Cilindrar   | No existe avance en el carro principal          | Desgaste de Husillo en el eje de Cilindrar                                                               | No se transmite velocidad desde la caja Norton al Carro Principal                                                                                      | 2                                                                                                                                   | 50 | B | <ul style="list-style-type: none"><li>Engrase de partes móviles</li><li>Inspección Visual por desgaste</li></ul> |
| 3                                              | Tornillo Patrón        | No existe avance en el carro transversal        | Desgaste de tornillo Patrón                                                                              | <ul style="list-style-type: none"><li>No existe avance longitudinal en el proceso de roscado</li><li>Imperfecciones en el proceso de roscado</li></ul> | 1                                                                                                                                   | 20 | C | <ul style="list-style-type: none"><li>Engrase de Tornillo Patrón con grasa en base a Calcio N°2</li></ul>        |
| 4                                              | Embrague               | No hay variación en el sentido de avance        | <ul style="list-style-type: none"><li>Eje del engrane dañado</li><li>Rodamientos en mal estado</li></ul> | No se producen los cambios de posición de los engranes                                                                                                 | 1                                                                                                                                   | 50 | C | <ul style="list-style-type: none"><li>Lubricación de Partes móviles</li><li>Reemplazo de Rodamientos</li></ul>   |

**Tabla C-5:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Caja Norton de Velocidad de avance) (b)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                                                          |                                                                               |                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |          |          |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                                                          |                                                                               |                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |          |          |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                                                          | <b>Función:</b>                                                               | <b>Subsistema</b>                                                                                                                   | <b>Función Subsistema</b>                                                                                                           |          |          |
| <b>Torno</b>                                          |                               |                                                          | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                            | <b>Caja de Avance automático o Caja Norton</b>                                                                                      | Entrega la velocidad de avance de la herramienta de corte, está compuesta por un sistema de engranaje, un tornillo patrón y poleas. |          |          |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b>                                     | <b>Causa de Falla</b>                                                         | <b>Efecto</b>                                                                                                                       | <b>Criticidad</b>                                                                                                                   |          |          |
|                                                       |                               |                                                          |                                                                               |                                                                                                                                     | <b>P</b>                                                                                                                            | <b>S</b> | <b>C</b> |
| <b>5</b>                                              | Rodamientos                   | No existe avance del carro porta herramientas            | Desgaste de Rodamientos                                                       | No existe rotación de los engranajes, no se produce avance automático                                                               | 6                                                                                                                                   | 100      | A        |
| <b>6</b>                                              | Eje de Engranajes             | No hay movimiento automático del carro Portaherramientas | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flexión de Eje de Engranaje</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Trabamiento de ruedas dentadas</li> <li>Daño en el motor eléctrico por sobrecarga</li> </ul> | 1                                                                                                                                   | 100      | B        |

**Tabla C-6:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Carro Portaherramientas) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                      |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     |          |          |                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                      |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     |          |          |                                                                                                                    |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                      | <b>Función:</b>                                                                                                                   | <b>Subsistema</b>                                                                                                                                                  | <b>Función Subsistema</b>                                                                                           |          |          |                                                                                                                    |
| <b>Torno</b>                                          |                               |                      | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                                                                                | <b>Carro Portaherramientas</b>                                                                                                                                     | Permite desplazar la herramienta de corte, está compuesto de Carro Principal, Carro Transversal y Torreta Giratoria |          |          |                                                                                                                    |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b> | <b>Causa de Falla</b>                                                                                                             | <b>Efecto</b>                                                                                                                                                      | <b>Criticidad</b>                                                                                                   |          |          | <b>Tarea de Mantenimiento</b>                                                                                      |
|                                                       |                               |                      |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                    | <b>P</b>                                                                                                            | <b>S</b> | <b>C</b> |                                                                                                                    |
| 1                                                     | Carro Principal               | No Opera             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rodamientos Desgastados</li> <li>Fractura de dientes en rueda dentada</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>No es posible realizar el proceso de cilindrado sobre la pieza</li> <li>Se imposibilita la operación de Torneado</li> </ul> | 3                                                                                                                   | 100      | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de Rodamientos</li> <li>Reemplazo de Rueda dentada</li> </ul>     |
| 2                                                     |                               | Atascamiento         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia de Virutas</li> </ul>                                                            | El proceso de cilindrado se realiza de forma forzada                                                                                                               | 6                                                                                                                   | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Limpieza de Virutas</li> </ul>                                              |
| 3                                                     |                               | Imprecisión          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fractura de dientes en rueda dentada de nonios</li> </ul>                                  | Engranajes han perdido relación de Transmisión                                                                                                                     | 1                                                                                                                   | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de eje de engranajes</li> </ul>                                   |
| 3                                                     | Carro Transversal             | No Opera             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rodamientos Desgastados</li> <li>Fractura de dientes en rueda dentada de nonios</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>No es posible realizar el proceso de refrentado sobre la pieza</li> <li>Se imposibilita la operación de Torneado</li> </ul> | 1                                                                                                                   | 100      | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de Rodamientos</li> <li>Reemplazo de Eje de Engranajes</li> </ul> |

**Tabla C-7:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Torno (Carro Portaherramientas) (b)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                      |                                                                                                         |                                                |                                                                                                                     |          |          |                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                      |                                                                                                         |                                                |                                                                                                                     |          |          |                                                                                                              |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                      | <b>Función:</b>                                                                                         | <b>Subsistema</b>                              | <b>Función Subsistema</b>                                                                                           |          |          |                                                                                                              |
| <b>Torno</b>                                          |                               |                      | Mecanizar Piezas de forma Geométrica de revolución                                                      | <b>Carro Portaherramientas</b>                 | Permite desplazar la herramienta de corte, está compuesto de Carro Principal, Carro Transversal y Torreta Giratoria |          |          |                                                                                                              |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b> | <b>Causa de Falla</b>                                                                                   | <b>Efecto</b>                                  | <b>Criticidad</b>                                                                                                   |          |          | <b>Tarea de Mantenimiento</b>                                                                                |
|                                                       |                               |                      |                                                                                                         |                                                | <b>P</b>                                                                                                            | <b>S</b> | <b>C</b> |                                                                                                              |
| 4                                                     | Carro Transversal             | Imprecisión          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fractura de dientes en rueda dentada</li> </ul>                  | Engranajes han perdido relación de transmisión | 1                                                                                                                   | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de Eje de Engranaje</li> </ul>                              |
| 5                                                     | Torreta Giratoria             | No Opera             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia de Virutas</li> <li>Desgaste de Rodamientos</li> </ul> | No existe rotación de la Torreta               | 6                                                                                                                   | 30       | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Limpieza de Virutas</li> <li>Lubricación de Partes Móviles</li> </ul> |

**Tabla C-8:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Caja de velocidades de Husillo) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                                                                                                               |                                                                                          |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                      |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                                                                                                               |                                                                                          |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                      |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Activo Físico                                  |                        | Función:                                                                                                      |                                                                                          | Subsistema                                                                                                   | Función Subsistema                                                                                                                                                                                   |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Fresadora Vertical de tres ejes                |                        | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z |                                                                                          | Caja de Velocidades de Husillo                                                                               | Entrega la velocidad de rotación de la herramienta a través de un motor principal, correas de transmisión, poleas y finalmente un conjunto de engranajes que permiten establecer la rapidez de giro. |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| N°                                             | Conjunto o componentes | Modo de Falla                                                                                                 | Causa de Falla                                                                           | Efecto                                                                                                       | Criticidad                                                                                                                                                                                           |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                                                                          |                                                                                                              | P                                                                                                                                                                                                    | S   | C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1                                              | Motor Eléctrico        | No opera                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bobinado dañado</li> <li>Eje Bloqueado</li> </ul> | No existe rotación del eje de giro del motor eléctrico                                                       | 3                                                                                                                                                                                                    | 100 | B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2                                              |                        | No Opera                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desgaste en rodamientos</li> </ul>                | No existe rotación del eje de giro del motor eléctrico                                                       | 3                                                                                                                                                                                                    | 100 | B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 3                                              | Poleas                 | Desgaste                                                                                                      | Uso extendido de poleas                                                                  | Correas se desalinean imposibilitando la transmisión de potencia                                             | 1                                                                                                                                                                                                    | 100 | C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 4                                              | Caja de Velocidades    | No Opera                                                                                                      | Desgaste de Rodamientos                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Engranajes no rotan</li> <li>Sobrecarga de Motor eléctrico</li> </ul> | 1                                                                                                                                                                                                    | 100 | C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                                                                          |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                      |     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rebobinar el motor</li> <li>Reemplazo del Motor</li> <li>Inspección Visual de componente bloqueante</li> <li>Reemplazo de Rodamientos</li> <li>Inspección Visual</li> <li>Reemplazo de Poleas</li> <li>Reemplazo de Rodamientos</li> <li>Lubricación de Rodamientos</li> </ul> |

**Tabla C-9:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Caja de velocidades de Husillo) (b)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
| Activo Físico                                  |                        | Función:                                                                                                      |                                      | Subsistema                                                                                                                 | Función Subsistema                                                                                                                                                                                   |     |   |
| Fresadora Vertical de tres ejes                |                        | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z |                                      | Caja de Velocidades de Husillo                                                                                             | Entrega la velocidad de rotación de la herramienta a través de un motor principal, correas de transmisión, poleas y finalmente un conjunto de engranajes que permiten establecer la rapidez de giro. |     |   |
| N°                                             | Conjunto o componentes | Modo de Falla                                                                                                 | Causa de Falla                       | Efecto                                                                                                                     | Críticidad                                                                                                                                                                                           |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            | P                                                                                                                                                                                                    | S   | C |
| 5                                              | Caja de Velocidades    | No Opera                                                                                                      | Fractura de dientes en rueda dentada | <ul style="list-style-type: none"> <li>No existe transmisión de rotación</li> <li>Sobrecarga de Motor Eléctrico</li> </ul> | 0,5                                                                                                                                                                                                  | 100 | C |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |
|                                                |                        |                                                                                                               |                                      |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |     |   |

**Tabla C-10:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Carro Longitudinal)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                                |                                                                                                               |                                                      |                                                                                                                                        |          |          |                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                                |                                                                                                               |                                                      |                                                                                                                                        |          |          |                                                                                                                         |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                                | <b>Función:</b>                                                                                               | <b>Subsistema</b>                                    | <b>Función Subsistema</b>                                                                                                              |          |          |                                                                                                                         |
| <b>Fresadora Vertical de tres ejes</b>                |                               |                                | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z | <b>Carro Longitudinal</b>                            | Permite la sujeción de las piezas a mecanizar mediante accesorios de fijación (Prensa). Además incluye la Manivela de avance del eje X |          |          |                                                                                                                         |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b>           | <b>Causa de Falla</b>                                                                                         | <b>Efecto</b>                                        | <b>Criticidad</b>                                                                                                                      |          |          | <b>Tarea de Mantenimiento</b>                                                                                           |
|                                                       |                               |                                |                                                                                                               |                                                      | <b>P</b>                                                                                                                               | <b>S</b> | <b>C</b> |                                                                                                                         |
| 1                                                     | Manivela de Eje X             | No Opera                       | Desgaste de Rodamientos                                                                                       | No se produce el movimiento rotativo de la Manivela  | 3                                                                                                                                      | 50       | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno de Lubricante (Central)</li> <li>• Reemplazo de Rodamientos</li> </ul> |
| 2                                                     |                               | Imprecisión                    | Fractura de Dientes en rueda Dentada                                                                          | Pérdida de relación de transmisión en engranajes     | 3                                                                                                                                      | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazo de Lubricante</li> <li>• Relleno de Lubricante (Central)</li> </ul>  |
| 3                                                     | Prensa de Sujeción            | No existe sujeción de la Pieza | Presencia de Virutas<br>Desgaste del Tornillo de Sujeción                                                     | No hay rotación del tornillo para sujetar a la pieza | 3                                                                                                                                      | 100      | B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de Virutas</li> <li>• Inspección Visual</li> </ul>                    |
| 4                                                     | Nonios                        | Imprecisión                    | Exceso de Lubricación                                                                                         | Pérdida de exactitud al cortar la pieza              | 1                                                                                                                                      | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección de Lubricación</li> </ul>                                           |
| 5                                                     |                               | Imprecisión                    | Soltura Mecánica                                                                                              |                                                      | 3                                                                                                                                      | 15       | C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar los nonios</li> </ul>                                                 |

**Tabla C-11:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Ménsula)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                      |                                                                                                               |                                          |                                                                                          |     |   |                                      |
|------------------------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                      |                                                                                                               |                                          |                                                                                          |     |   |                                      |
| Activo Físico                                  |                        |                      | Función:                                                                                                      | Subsistema                               | Función Subsistema                                                                       |     |   |                                      |
| Fresadora Universal de tres ejes               |                        |                      | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z | Ménsula                                  | Contiene los mecanismos para los avances automáticos y manuales de los distintos carros, |     |   |                                      |
| N°                                             | Conjunto o componentes | Modo de Falla        | Causa de Falla                                                                                                | Efecto                                   | Criticidad                                                                               |     |   | Tarea de Mantenimiento               |
|                                                |                        |                      |                                                                                                               |                                          | P                                                                                        | S   | C |                                      |
| 1                                              | Manivela Eje Y         | No Rota              | Desgaste de Rodamientos                                                                                       | No se puede ajustar pieza para corte     | 0,5                                                                                      | 100 | C | Inspección de Rodamientos            |
| 2                                              | Manivela Eje Z         | No Rota              | Desgaste de rodamientos                                                                                       | No se puede ajustar profundidad de corte | 0,5                                                                                      | 100 | C | Inspección de Rodamientos            |
| 3                                              | Nonios                 | Imprecisión en corte | Soltura Mecánica                                                                                              | Profundidad de corte no es el deseado    | 1                                                                                        | 100 | B | Contraste de avance graduado vs real |
| 4                                              |                        |                      | Problema en Rodamientos                                                                                       |                                          | 2                                                                                        | 100 | B |                                      |

**Tabla C-12:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Cabezal vertical) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| Análisis de Modo de Falla y Efecto             |                        |                  |                                                                                                               |                                                                              |                                                                                                                                                                     |     |   |                                                              |
|------------------------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------------------|
| Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín |                        |                  |                                                                                                               |                                                                              |                                                                                                                                                                     |     |   |                                                              |
| Activo Físico                                  |                        |                  | Función:                                                                                                      | Subsistema                                                                   | Función Subsistema                                                                                                                                                  |     |   |                                                              |
| Fresadora Universal de tres ejes               |                        |                  | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z | Cabezal Vertical                                                             | Mecanismo que se utiliza para el fresado de las piezas, se compone del husillo, cono portaherramientas y está acoplado a la Caja de velocidades mediante engranajes |     |   |                                                              |
| N°                                             | Conjunto o componentes | Modo de Falla    | Causa de Falla                                                                                                | Efecto                                                                       | Críticidad                                                                                                                                                          |     |   | Tarea de Mantenimiento                                       |
|                                                |                        |                  |                                                                                                               |                                                                              | P                                                                                                                                                                   | S   | C |                                                              |
| 1                                              | Cono Portaherramientas | No rota          | Desgaste de Correas                                                                                           | No hay transmisión de potencia desde la caja de velocidades hasta el husillo | 3                                                                                                                                                                   | 100 | A | • Inspección Visual<br>• Reemplazo de Correas                |
| 2                                              |                        |                  | Desgaste de Rodamientos                                                                                       | No gira el eje del Husillo                                                   | 3                                                                                                                                                                   | 100 | A | • Lubricación de Rodamientos<br>• Reemplazo de Rodamientos   |
| 3                                              |                        | Rota desalineado | Esfuerzo concentrado durante el proceso de mecanizado                                                         | Acople de Husillo con Hembra resulta geométricamente desalineado             | 1                                                                                                                                                                   | 50  | C | • Reemplazo de acople<br>• Reemplazo de Husillo              |
| 4                                              |                        | Atascamiento     | Presencia de Viruta dentro del acople                                                                         | Rotación forzada del Husillo generando mecanizado incorrecto                 | 0,5                                                                                                                                                                 | 100 | C | • Limpieza de Viruta<br>• Inspección Visual antes de acoplar |
|                                                | Temperatura            |                  | Inspección termografía                                                                                        |                                                                              |                                                                                                                                                                     |     |   |                                                              |

**Tabla C-13:** Análisis de Modo de Falla y Efecto en Fresadora Universal de Tres Ejes (Cabezal vertical) (a)

**Fuente:** Elaboración Propia

| <b>Análisis de Modo de Falla y Efecto</b>             |                               |                                  |                                                                                                               |                                                                               |                                                                                                                                                                     |     |   |                                          |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------|
| <b>Taller Metalmecánico UTFSM, Campus San Joaquín</b> |                               |                                  |                                                                                                               |                                                                               |                                                                                                                                                                     |     |   |                                          |
| <b>Activo Físico</b>                                  |                               |                                  | <b>Función:</b>                                                                                               | <b>Subsistema</b>                                                             | <b>Función Subsistema</b>                                                                                                                                           |     |   |                                          |
| <b>Fresadora Universal de tres ejes</b>               |                               |                                  | Realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta utilizando movimientos en los ejes ortogonales X, Y, Z | <b>Cabezal Vertical</b>                                                       | Mecanismo que se utiliza para el fresado de las piezas, se compone del husillo, cono portaherramientas y está acoplado a la Caja de velocidades mediante engranajes |     |   |                                          |
| <b>N°</b>                                             | <b>Conjunto o componentes</b> | <b>Modo de Falla</b>             | <b>Causa de Falla</b>                                                                                         | <b>Efecto</b>                                                                 | <b>Criticidad</b>                                                                                                                                                   |     |   | <b>Tarea de Mantenimiento</b>            |
| 5                                                     | Cono Portaherramientas        | Deslizamiento                    | Exceso de Lubricación                                                                                         | Husillo rota con demasiada facilidad, produciendo desajustes en el mecanizado | 0,5                                                                                                                                                                 | 100 | C | •Revisión de Bomba manual de Lubricación |
| 6                                                     |                               | Desacople                        | Exceso de Lubricación                                                                                         | Imposibilidad de realizar el proceso de frezado                               | 0,5                                                                                                                                                                 | 100 | C | •Revisión de Bomba Manual de Lubricación |
|                                                       |                               |                                  | Mal acople de cono con hembra                                                                                 |                                                                               |                                                                                                                                                                     |     |   |                                          |
| 7                                                     | Portaherramientas             | No Corta                         | Mal ajuste del inserto                                                                                        | Los insertos se han soltado                                                   | 0,5                                                                                                                                                                 | 50  | C | Inspección Previa al trabajo de Fresado  |
| 8                                                     |                               | Imprecisión                      | Inserto desalineado, desgastado                                                                               | Fallas en mecanizado                                                          | 0,5                                                                                                                                                                 | 15  | C | Reemplazo de Insertos                    |
|                                                       |                               |                                  |                                                                                                               | Incorrecto fresado                                                            |                                                                                                                                                                     |     |   |                                          |
| 9                                                     |                               | Flexión en los dientes de ajuste | Exceso de Carga,                                                                                              | Fallas en mecanizado, como imprecisiones                                      | 1                                                                                                                                                                   | 50  | C | Reemplazo de Portaherramientas           |

## **Anexo D**

### **D. Listas de chequeo rutinarias**

|  |                                                          |                 |           |
|--|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|  | <b>Lista de Chequeo de Máquina Soldadora Arco Manual</b> | <b>Código</b>   | 201004019 |
|  |                                                          | <b>Registro</b> | 1         |
|  |                                                          | <b>Fecha</b>    |           |

|                |       |
|----------------|-------|
| Realizado por: | Firma |
|----------------|-------|

|        |                    |
|--------|--------------------|
| Fecha: | Sección: Soldadura |
|--------|--------------------|

Marque con **X** el estado

| Descripción |
|-------------|
|-------------|

| Accesorios Máquina                                                           | Bien | Mal | Observaciones |
|------------------------------------------------------------------------------|------|-----|---------------|
| La cerámica del porta electrodo no presenta trizaduras                       |      |     |               |
| Se encuentra en buenas condiciones la cerámica del porta electrodo (gastado) |      |     |               |
| El electrodo queda sujeto de forma correcta                                  |      |     |               |
| El seguro del mango funciona correctamente                                   |      |     |               |
| Los pernos de sujeción de la pinza de masa están ajustados                   |      |     |               |
| Están todos los tornillos del porta electrodo en su lugar                    |      |     |               |
| El cable de conexión a red no presenta deterioro                             |      |     |               |

| Accesorio Seguridad                                         | Bien | Mal | Observaciones |
|-------------------------------------------------------------|------|-----|---------------|
| Los guantes se encuentran en buenas condiciones             |      |     |               |
| La pechera de cuero está en buenas condiciones              |      |     |               |
| Funciona la foto sensibilidad de la máscara                 |      |     |               |
| La cabeza queda ajustada de forma correcta                  |      |     |               |
| La máscara baja de forma manual                             |      |     |               |
| Se evita la exposición directa del cuerpo al arco eléctrico |      |     |               |
| La chaqueta de cuero está en buenas condiciones             |      |     |               |

**Figura D-1:** Lista de Chequeo de Máquina Soldadora de Arco Eléctrico

**Fuente:** Elaboración Propia

|  |                                                          |                 |           |
|--|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|  | <b>Lista de Chequeo de Torno Horizontal 3,5<br/>[kW]</b> | <b>Código</b>   | A40801551 |
|  |                                                          | <b>Registro</b> | 1         |
|  |                                                          | <b>Fecha</b>    |           |

|                |       |
|----------------|-------|
| Realizado por: | Firma |
|----------------|-------|

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| <b>Fecha:</b> | <b>Sección:</b> <b>Tornos</b> |
|---------------|-------------------------------|

Marque con X el estado

| Descripción                                                             |  |             |            |                      |
|-------------------------------------------------------------------------|--|-------------|------------|----------------------|
| <b>Sistema Eléctrico</b>                                                |  | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| El Interruptor de encendido funciona correctamente                      |  |             |            |                      |
| Cable Eléctrico de conexión a la red se encuentra en buenas condiciones |  |             |            |                      |
| La carcasa metálica de la máquina está conectada a tierra               |  |             |            |                      |
| El Cable de Alimentación no presenta desgaste, Cortes, etc.             |  |             |            |                      |
| Pulsador de parada de emergencia                                        |  |             |            |                      |
| Pedal de Parada de emergencia está operativo                            |  |             |            |                      |
| <b>Aceite y Lubricación</b>                                             |  | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Niveles de Aceite Caja de Velocidades                                   |  |             |            |                      |
| Nivel de Aceite Caja de Avance                                          |  |             |            |                      |
| Lubricación de Bancada Horizontal                                       |  |             |            |                      |
| Lubricación de Carro Portaherramientas                                  |  |             |            |                      |
| <b>Funcionamiento de Partes Eléctricas</b>                              |  | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Lámpara de Mesa Longitudinal                                            |  |             |            |                      |
| Pulsador de Avance                                                      |  |             |            |                      |
| Motor de Caja de Velocidades                                            |  |             |            |                      |
| Switch de Seguridad de Plato de Tres garras                             |  |             |            |                      |
| <b>Componentes Mecánicos</b>                                            |  | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Palanca de Caja de Velocidades                                          |  |             |            |                      |
| Palanca de Caja de avance                                               |  |             |            |                      |
| Avance Automático herramienta de corte                                  |  |             |            |                      |
| Embrague de marcha y contramarcha                                       |  |             |            |                      |
| Inspección visual por presencia de viruta en bancada                    |  |             |            |                      |

**Figura D-2:** Lista de Chequeo de Torno Horizontal de 3,5 [kW]

**Fuente:** Elaboración Propia

|  |                                                                     |            |           |
|--|---------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
|  | <b>Lista de Chequeo de Fresadora<br/>Vertical de 3 ejes, 4 [kW]</b> | Código     | 201004019 |
|  |                                                                     | Registro   | XX        |
|  |                                                                     | N° Máquina | 1         |

|                |       |
|----------------|-------|
| Realizado por: | Firma |
|----------------|-------|

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| Fecha: | Sección:                      Tornos |
|--------|--------------------------------------|

Marque con X el estado

| Descripción                                                          | Bien        | Mal        | Observaciones        |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|------------|----------------------|
| <b>Sistema Eléctrico</b>                                             |             |            |                      |
| El interruptor de encendido funciona correctamente                   |             |            |                      |
| La parada de emergencia funciona correctamente                       |             |            |                      |
| Cable eléctrico de conexión a red se encuentra en buenas condiciones |             |            |                      |
| El cable de alimentación no presenta desgaste                        |             |            |                      |
| <b>Aceites y Lubricación</b>                                         | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Lubricación de Bancada                                               |             |            |                      |
| Nivel de Aceite de Cajas de Avances                                  |             |            |                      |
| Nivel de Aceite de Mandril                                           |             |            |                      |
| Lubricación de Mandril                                               |             |            |                      |
| <b>Funcionamiento de Partes Eléctricas</b>                           | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Pulsadores de Giro de Sistema de Mando                               |             |            |                      |
| Motor Caja de Velocidad Husillo                                      |             |            |                      |
| Motor Caja de Avance de Bancada                                      |             |            |                      |
| Finales de Carrera Bancadas                                          |             |            |                      |
| Led de Encendido                                                     |             |            |                      |
| Ampolleta de iluminación                                             |             |            |                      |
| <b>Componentes Mecánicos</b>                                         | <b>Bien</b> | <b>Mal</b> | <b>Observaciones</b> |
| Manivelas de ejes en buen estado                                     |             |            |                      |
| Porta herramientas en buenas condiciones                             |             |            |                      |
| Transmisión de velocidad se realiza con normalidad                   |             |            |                      |

| Accesorios de Seguridad                  | Bien | Mal | Observaciones |
|------------------------------------------|------|-----|---------------|
| Utilización de Gafas de seguridad        |      |     |               |
| Pelo tomado (en caso de aplicar)         |      |     |               |
| Existencia de Brocha para limpiar viruta |      |     |               |

**Figura D-3:** Lista de Chequeo de Fresa Universal de 4 [kW]

**Fuente:** Elaboración Propia

## Referencias

- [1] GERLING, Heinrich. *Alrededor de las máquinas-herramienta*. Editorial Reverté, 2002. 84-291-6049-3
- [2] GÓMEZ, Simón Millán. *Procedimientos de mecanizado*. Editorial Paraninfo, 2006.
- [3] CORREA, J. A. Principios de Torneado. Ciudad del Rosario, Santa Fé, Argentina: Argentina, 2008.
- [4] IMAT Ltda. Recuperado de: <http://imat.com.co/home/7-18-volt-compact-lithium-ion-drill.html>
- [5] Indura S.A.
- [6] ANGULO, José María Gaxiola & GARCÍA, Vicente Maya. *Curso de capacitación en soldadura*. Editorial Limusa, 2004.
- [7] BARTSCH, Walter. *Herramientas Máquinas Trabajo*. Editorial Reverté. 1973
- [8] Imvadem S.A. Recuperado: <http://www.imvadem.com/herramientaelectrica.htm>
- [9] PASTINANTE, Aldo. *Limado en Ajuste Mecánico*. 2009. Recuperado de: <https://ajuste.wordpress.com/2009/11/17/limado/>
- [10] Tecnología Técnica. Recuperado de: [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4153.html](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4153.html)
- [11] *Mecanizado por arranque de Viruta*. Recuperado del *Departamento de Ingeniería Mecánica* de la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao*, de: [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/729\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/729_ca.pdf)
- [12] FAMA S.A, Recuperado de: <http://www.famasa.com/product.php?id=2631>
- [13] PASTINANTE, Aldo. *Aserrado en Ajuste Mecánico*, Recuperado de: <https://ajuste.wordpress.com/2009/11/17/aserrado/>
- [14] TECNOIMPORTADORA DE MAQUINARIAS S.A. de C.V. Recuperado de: <https://www.maquinariacatalogo.com/productos-sierras-decintahorizontalvertical-bmt712.html>

- [15] DE LEÓN, Félix Cesáreo Gómez. *Tecnología del mantenimiento industrial*. Editum, 1998.
- [16] AL-NAJJAR, Basim; ALSYOUF, Imad. Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision-making. *International journal of production economics*, 2003, vol. 84, no 1, p. 85-100.
- [17] RAHEJA, D., et al. Data fusion/data mining-based architecture for condition-based maintenance. *International Journal of Production Research*, 2006, vol. 44, no 14, p. 2869-2887.
- [18] MARTIN, K. F. A review by discussion of condition monitoring and fault diagnosis in machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1994, vol. 34, no 4, p. 527-551.
- [19] JARDINE, Andrew KS; LIN, Daming; BANJEVIC, Dragan. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical systems and signal processing*, 2006, vol. 20, no 7, p. 1483-1510.
- [20] MOUBRAY, John. *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc., 1997.
- [21] PISTARELLI, Alejandro Jorge. Manual de mantenimiento: ingeniería, gestión y organización/. Pistarelli, 2010.
- [22] WIREMAN, Terry. *Total productive maintenance*. Industrial Press Inc., 2004.
- [23] SEIICHI, Nakajima. Introducción al TPM (Mantenimiento Productivo Total). 1992.
- [24] ARUNRAJ, N. S.; MAITI, J. Risk-based maintenance—Techniques and applications. *Journal of hazardous materials*, 2007, vol. 142, no 3, p. 653-661.
- [25] SAKAI, Shinsuke. Risk-based maintenance. *JR East Technical Review*, 2010, vol. 17.
- [26] TSANG, Albert HC. Condition-based maintenance: tools and decision-making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1995, vol. 1, no 3, p. 3-17.
- [27] SRIKRISHNA, S.; YADAVA, G. S.; RAO, P. N. Reliability-centred maintenance applied to power plant auxiliaries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*,

- 1996, vol. 2, no 1, p. 3-14. [28] SMITH, Anthony M. Reliability centred maintenance McGraw-Hill. New York, NY, 1993.
- [29] PURDY, Grant. ISO 31000: 2009—setting a new standard for risk management. *Risk analysis*, 2010, vol. 30, no 6, p. 881-886.
- [30] IZUAKOR, Christine & WHITE, Richard. *Critical Infrastructure asset identification: Policy, Methodology and Gap Analysis*. Springer International Publishing. 2016
- [31] TRANTER, Jason. *The Asset Criticality Ranking; Key to Any Reliability Improvement Programme*. Maint World. 2016. Recuperado de: <http://www.maintworld.com/Asset-Management/The-Asset-Criticality-Ranking-Key-to-Any-Reliability-Improvement-Programme>
- [32] AGUILAR-OTERO, José R.; TORRES-ARCIQUE, Rocío; MAGAÑA-JIMÉNEZ, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 2010, vol. 25, no 1, p. 15-26.
- [33] Quiroz Lopez, P., & Mena Díaz F. (2011). *Elaboración de Plan de Mantenimiento Para Taller Metalmeccanico Campus San Joaquín*. (Memoria de Licenciatura inédita). Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar, Chile.
- [34] OGALLA, Francisco. Sistema de gestión: Una guía práctica. Cómo pasar de la certificación de la calidad, a un enfoque integral de gestión. Ediciones de Santos. España, 2005.
- [35] VIVEROS, Pablo, et al. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2013, vol. 21, no 1, p. 125-138.
- [36] STEGMEIER, Raúl, et al. *Ingeniería de Plantas Industriales* [Diapositiva]. Santiago, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- [37] Turmo Sierra, E. 1971. *Evaluación matemática para control de riesgos*. Traducción del trabajo de FINE, William T. *Mathematical Evaluation for Controlling*

*Hazards*. Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Barcelona. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

[38] ISO 31000:2009, Risk Management- Principles and Guidelines. Geneva: International Standards Organisation, 2009

[39] VATN, Jørn; HOKSTAD, Per; BODSBERG, Lars. An overall model for maintenance optimization. *Reliability Engineering & System Safety*, 1996, vol. 51, no 3, p. 241-257.

[40] Instituto de Salud Pública de Chile (2013), *Guía para la identificación y evaluación de riesgos de seguridad en los ambientes de trabajo*. 1ª ed. Santiago

[41] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2000). *Occupational Safety and Health Standards, Welding, Cutting, and Brazing*. Recuperado de: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_id=9853&p\\_table=STANDARDS](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=9853&p_table=STANDARDS)

[42] MORA, Luis Alberto. *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor, 2009.

[43] HIGGINS, Lindley R., et al. *Maintenance engineering handbook*. McGraw-Hill,, 2002.