

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS
EQUIPOS DE LOS LABORATORIOS DE MULTIEJE ENSAYOS MECÁNICOS Y
SOLDADURA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS SEDE PRINCIPAL

ANDRES STEVEN RAMÍREZ SOLANO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2025

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS
EQUIPOS DE LOS LABORATORIOS DE MULTIEJE ENSAYOS MECÁNICOS Y
SOLDADURA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS SEDE PRINCIPAL

ANDRES STEVEN RAMÍREZ SOLANO

TRABAJO DE GRADO

Directora
Mgtr. Cecilia Rivera Vergara

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2025

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes con su esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional hicieron posible la culminación de esta etapa de mi vida.

A mi hermano, por estar presente en los momentos difíciles y brindarme siempre su respaldo.

A mi abuela, por su amor, apoyo, sabiduría y por ser un ejemplo de fortaleza y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, comprensión y acompañamiento a lo largo de todo mi proceso académico, los cuales fueron fundamentales para la culminación de esta etapa de formación profesional.

De igual manera, agradezco a mi hermano, por su constante apoyo y por ayudarme siempre que surgían dudas o dificultades en el proceso de aprendizaje.

Expreso un especial agradecimiento a mi tutora de trabajo de grado, quien fue de gran ayuda durante todo el trayecto académico, brindando orientación, acompañamiento y valiosos aportes que permitieron el correcto desarrollo del presente proyecto.

Finalmente, agradezco a los laboratoristas, quienes amablemente brindaron parte de su tiempo y compartieron información clave, contribuyendo de manera significativa a la finalización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	11
RESUMEN.....	13
1. GENERALIDADES.....	15
1.1. INTRODUCCIÓN	15
1.2. OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN	19
1.5. MARCO TEÓRICO.....	20
¿Qué es el mantenimiento?	20
Tipos de mantenimiento:.....	20
Tipos de indicadores:.....	23
Software de mantenimiento	24
Tipos de software de mantenimiento:	24
2. DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS MAQUINAS DE LOS LABORATORIOS.....	26
2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	26
2.1.1. Laboratorio multieje ensayos mecánicos.....	26
2.1.2. Laboratorio de soldadura.....	35
2.2. EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN TÉCNICA	44
2.2.1. Clasificación de los equipos críticos..	44
2.2.2. Clasificación de frecuencia de uso.	47
2.3. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LOS LABORATORIOS.....	49
3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)	52
3.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE FALLAS	52
3.2. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA AMEF.....	55
3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA POR CRITICIDAD	59
3.4. CONCLUSIONES DEL AMEF.....	62
4. ESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	64
4.1. ALCANCE Y CONDICIONES ACTUALES DEL MANTENIMIENTO EN LOS LABORATORIOS	64
4.2. ADAPTACIÓN Y MEJORA DE LA HOJA DE VIDA	65

4.3.	LISTADO DE REPUESTOS Y CONSUMIBLES ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	67
4.3.1.	Repuestos e insumos de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos.	68
4.3.2.	Repuestos e insumos de los equipos del laboratorio de soldadura.....	72
4.4.	PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	75
4.4.1.	Laboratorio de multieje ensayos mecánicos.	76
4.4.2.	Laboratorio de soldadura.....	77
4.5.	ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	78
5.	DEFINICIÓN Y ELABORACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	80
5.1.	CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO	80
5.2.	ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	80
5.3.	RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR LABORATORIO	81
5.3.1.	Laboratorios de multieje ensayos mecánicos.	81
5.3.2.	Laboratorio de soldadura.....	88
5.4.	PROGRAMACIÓN Y CRONOGRAMA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	91
5.5.	DESCRIPCIÓN E INTEGRACIÓN DEL ARCHIVO DE PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	92
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES.....	96
	BIBLIOGRAFÍA.....	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario de equipos del laboratorio de manufactura multieje y ensayos mecánicos .	27
Tabla 2. Condiciones generales centro de mecanizado Finetech GTX 170	28
Tabla 3. Condiciones generales máquina de los ángeles con motor trifásico.....	29
Tabla 4. Condiciones generales Máquina de impacto manual	30
Tabla 5. Torno Polygim Diamond 20CSB.....	31
Tabla 6. Condiciones generales Máquina universal Shimadzu 500K	32
Tabla 7. Condiciones generales compresor Atlas Copco gx4 p csa/ul	33
Tabla 8. Condiciones generales Banco de entrenador nivel 1 y 3.....	34
Tabla 9. Inventario de equipos del laboratorio de soldadura	36
Tabla 10. Condiciones generales Equipo de soldadura Lincoln C 225.....	37
Tabla 11. Condiciones generales Equipo soldador rectificador Lincoln 250A.....	38
Tabla 12. Condiciones generales Equipo de soldadura revestido de 160A. West Arco.....	39
Tabla 13. Condiciones generales Equipo inversor electrodo revestido De 250A. West Arco.....	40
Tabla 14. Condiciones generales Equipo de soldadura Hypertherm Wermox 30 XP	41
Tabla 15. Condiciones generales Mufla (horno).....	42
Tabla 16. Condiciones generales Taladro de árbol Craftsman.....	43
Tabla 17. Criterios de criticidad de los equipos	44
Tabla 18. Formato para evaluar la criticidad de los equipos.....	45
Tabla 19. Significado de cada puntaje obtener en la tabla de criticidad	45
Tabla 20. Evaluación de criticidad de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	46
Tabla 21. Evaluación de criticidad de los equipos del laboratorio de soldadura	46
Tabla 22. Rango frecuencia de uso	47
Tabla 23. Frecuencia de uso estimada de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	48
Tabla 24. Frecuencia de uso estimada de los equipos del laboratorio de soldadura.....	48
Tabla 25. Clasificación técnica y diagnostico operativo de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	49
Tabla 26. Clasificación técnica y diagnostico operativo de los equipos del laboratorio de soldadura.....	50
Tabla 27. Historial de fallas del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	53
Tabla 28. Historial de fallas del laboratorio de soldadura	54
Tabla 29. Clasificación de criticidad de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	58
Tabla 30. Clasificación de criticidad de los equipos del laboratorio de soldadura.....	58
Tabla 31. Matriz AMEF	59
Tabla 32. Clasificación del nivel de criticidad según el NPR	59
Tabla 33. NPR equipos de los equipos críticos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	60
Tabla 34. NPR de los equipos críticos del laboratorio de soldadura.....	61

Tabla 35. Disponibilidad y tipo de manuales de mantenimiento por equipo del laboratorio de multieje ensayos mecánicos	68
Tabla 36. Repuestos e insumos centro de Mecanizado Finetech GTX 170	69
Tabla 37. Repuestos e insumos torno Polygim Diamond 20 CSB	69
Tabla 38. Repuestos e insumos máquina Universal Shimadzu 500K.....	70
Tabla 39. Repuestos e insumos compresor Atlas Copco GX4	70
Tabla 40. Repuestos e insumos banco de entrenador Lab Volt	71
Tabla 41. Repuestos e insumos de máquina de los Ángeles con motor trifásico	71
Tabla 42. Repuestos e insumos máquina de impacto manual	71
Tabla 43. Disponibilidad y tipo de manuales de mantenimiento por equipo del laboratorio de soldadura.....	72
Tabla 44. Repuestos e insumos equipo de soldadura Lincoln C225	72
Tabla 45. Repuestos e insumos equipo soldador rectificador Lincoln 250A.....	73
Tabla 46. Repuestos e insumos equipo de soldadura West-Arco 160A	73
Tabla 47. Repuestos e insumos equipo inversor West-Arco 250A.....	73
Tabla 48. Repuestos e insumos equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP.....	74
Tabla 49. Repuestos e insumos Mufla	74
Tabla 50. Repuestos e insumos taladro de árbol Craftsman	75
Tabla 51. Mantenimiento equipos del laboratorio multieje ensayos mecánicos.....	76
Tabla 52. Mantenimiento equipos del laboratorio de soldadura	77
Tabla 53. Rutina de mantenimiento preventivo CNC Finetech GTX 170	82
Tabla 54. Rutina de mantenimiento preventivo máquina de los Ángeles con motor trifásico.....	83
Tabla 55. Rutina de mantenimiento preventivo máquina de impacto manual	84
Tabla 56. Rutina de mantenimiento preventivo torno Polygim Diamond 20 CSB	85
Tabla 57. Rutina de mantenimiento preventivo maquina universal Shimadzu 500K.....	86
Tabla 58. Rutina de mantenimiento preventivo compresor Atlas Copco GX4	87
Tabla 59. Rutina de mantenimiento preventivo banco de entrenador Lab Volt.....	88
Tabla 60. Rutina de mantenimiento preventivo equipos de soldadura	89
Tabla 61. Rutina de mantenimiento preventivo taladro de árbol Craftsman	89
Tabla 62. Rutina de mantenimiento preventivo mufla.....	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Laboratorio de manufactura multieje y ensayos mecánicos	26
Fig. 2. Laboratorio de manufactura multieje y ensayos mecánicos	27
Fig. 3. Centro de mecanizado Finetech GTX 170	28
Fig. 4. Máquina de los ángeles con motor trifásico	29
Fig. 5. Máquina de impacto manual	30
Fig. 6. Torno Polygim Diamond 20CSB.....	31
Fig. 7. Máquina universal Shimadzu 500K.....	32
Fig. 8. Compresor Atlas Copco gx4 p csa/ul	33
Fig. 9. Banco de entrenador nivel 1 y 3.....	34
Fig. 10. Laboratorio de soldadura	35
Fig. 11 Laboratorio de soldadura	35
Fig. 12. Equipo de soldadura Lincoln C 225.....	37
Fig. 13. Equipo soldador rectificador Lincoln 250A	38
Fig. 14. Equipo de soldadura revestido de 160A. West Arco.....	39
Fig. 15. Equipo inversor electrodo revestido De 250A. West Arco	40
Fig. 16. Equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP	41
Fig. 17. Mufla (horno).....	42
Fig. 18. Taladro de árbol Craftsman.....	43
Fig. 19. Practicas por año facultad de ingeniería mecánica	47
Fig. 20. Clasificación de severidad.....	56
Fig. 21. Clasificación de ocurrencia	57
Fig. 22. Clasificación de grado de detección	57
Fig. 23. Hoja de vida institucional.....	65
Fig. 24. Hoja de vida institucional prototipo.....	66
Fig. 25. Hoja de vida institucional final	67
Fig. 26. Estructura de las actividades de mantenimiento preventivo en la hoja de vida del equipo	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. AMEF_Laboratorios

Anexo B. Lab. Multieje

Anexo C. Lab. Soldadura

GLOSARIO

AMEF (ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS): la metodología utilizada para identificar y evaluar posibles fallas en un equipo, proceso o sistema, analizando causas, efectos y su nivel de riesgo.

CALIBRACIÓN: proceso mediante el cual se ajusta y verifica un equipo o instrumento para asegurar mediciones precisas y confiables.

CNC (CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO): sistema de control automatizado que dirige máquinas-herramienta mediante instrucciones programadas para ejecutar mecanizados precisos.

CRITICIDAD: nivel de importancia de un equipo según su impacto en la seguridad, calidad, confiabilidad y continuidad del proceso.

EQUIPO FIJO: máquina o herramienta instalada de forma permanente en un lugar específico del laboratorio.

EQUIPO MÓVIL: equipo que puede desplazarse dentro o fuera del laboratorio para su uso o mantenimiento.

FALLA: evento o condición que interrumpe el funcionamiento normal de un equipo.

MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURES): indicador que representa el tiempo promedio que un equipo opera correctamente entre fallas.

MTTR (MEAN TIME TO REPAIR): tiempo promedio requerido para reparar un equipo desde que falla hasta que vuelve a operar.

LUBRICACIÓN: aplicación de aceites o grasas para reducir fricción, desgaste y temperatura en componentes mecánicos.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: intervención realizada después de la ocurrencia de una falla, con el fin de restaurar la operación del equipo.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: estrategia basada en el monitoreo de condiciones para anticipar fallas mediante análisis de vibración, ruido o temperatura.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: actividades programadas para evitar fallas y prolongar la vida útil de los equipos.

MATRIZ DE PUGH: herramienta de evaluación comparativa utilizada para seleccionar alternativas con base en criterios establecidos.

MUFLA: horno de laboratorio capaz de alcanzar altas temperaturas para tratamientos térmicos y calcinación de materiales.

NPR (NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGO): valor resultante de multiplicar severidad, ocurrencia y detección de un modo de falla en un AMEF, utilizado para priorizar riesgos.

RODAMIENTO: elemento mecánico que permite el giro suave de ejes reduciendo fricción entre superficies móviles.

RUTINA DE MANTENIMIENTO: conjunto de actividades con una frecuencia definida que permiten conservar un equipo en condiciones operativas adecuadas.

VIDA ÚTIL: periodo durante el cual un equipo puede operar correctamente bajo condiciones normales antes de requerir reemplazo.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para los equipos pertenecientes a los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, sede principal. La investigación surge ante la ausencia de un plan de mantenimiento estructurado, lo que ha generado fallas recurrentes, tiempos de inactividad, suspensión de prácticas académicas y retrasos en proyectos de investigación. Mediante un diagnóstico integral que incluyó inspecciones visuales, revisión documental, entrevistas con los laboratoristas y análisis del estado operativo, se identificaron dieciséis equipos, los cuales fueron evaluados según su criticidad, frecuencia de uso y condiciones actuales.

Para la clasificación de criticidad se aplicaron herramientas como la matriz de Pugh y criterios técnicos relacionados con seguridad, impacto en la producción académica, calidad de los procesos y requerimientos de mantenimiento. Los resultados evidenciaron que en el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos cuatro equipos presentan criticidad alta, dos criticidad media y tres criticidad baja; mientras que en el laboratorio de Soldadura cuatro equipos alcanzan criticidad alta y los cinco restantes criticidad media.

Posteriormente, se aplicó el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) a los equipos clasificados con criticidad alta y media, lo cual permitió identificar modos de falla, sus efectos potenciales, causas probables, controles existentes y el Número Prioritario de Riesgo (NPR). Los resultados mostraron que los equipos CNC concentran la mayor complejidad técnica, mientras que en los equipos de soldadura destacan fallas asociadas al desgaste de cables, pinzas y componentes sometidos a altas temperaturas.

A partir de los diagnósticos, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo que integra la mejora del formato institucional de hoja de vida, la elaboración de un listado detallado de repuestos y consumibles, y la definición de rutinas de mantenimiento estructuradas según periodicidad (diaria, semanal, mensual, semestral y anual). Dichas rutinas se fundamentaron en manuales de fabricante, documentación de equipos similares y la experiencia del personal de laboratorio. Adicionalmente, se estimaron los costos directos, indirectos y recurrentes asociados a la ejecución del plan, con el fin de apoyar la gestión de recursos institucionales.

El plan propuesto busca optimizar la disponibilidad, seguridad y confiabilidad de los equipos, reducir los costos derivados de mantenimientos correctivos y fortalecer la cultura del mantenimiento dentro de la Facultad. Su implementación permitirá mejorar la continuidad de las prácticas académicas, garantizar condiciones operativas adecuadas en los laboratorios y contribuir al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en ingeniería mecánica.

PALABRAS CLAVE: mantenimiento preventivo, AMEF, criticidad de equipos, laboratorios de ingeniería, gestión de mantenimiento.

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento de los laboratorios en una institución universitaria es fundamental para la formación de los estudiantes, ya que en estos espacios se aplican los conocimientos teóricos mediante la práctica y la experimentación. En el caso de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, sede principal, los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura desempeñan un papel esencial en el desarrollo académico, investigativo y práctico de los futuros ingenieros.

Sin embargo, la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo y organizado ha limitado la gestión eficiente de los equipos, ocasionando fallas inesperadas, suspensión de prácticas y retrasos en actividades de investigación. Esta situación afecta no solo la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, sino también el cumplimiento de los objetivos académicos y la seguridad de los usuarios.

Con el fin de dar respuesta a esta necesidad, el presente proyecto propone el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura. El plan contempla el diagnóstico técnico de los equipos, la identificación de aquellos más críticos, el análisis de modos y efectos de falla, y la estructuración de rutinas de mantenimiento que permitan optimizar la gestión de los recursos y prolongar la vida útil de los equipos. La implementación de esta propuesta busca garantizar la continuidad de las prácticas académicas, reducir los costos derivados de reparaciones correctivas y fortalecer la cultura del mantenimiento dentro de la Facultad. De esta manera, se pretende contribuir al mejoramiento de la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje, asegurando la disponibilidad de espacios seguros, confiables y sostenibles para la formación profesional en ingeniería mecánica.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos situados en los laboratorios de multieje ensayos mecánicos y soldadura en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás Sede Principal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los equipos de cada laboratorio mediante inspecciones visuales, con el propósito de evaluar su estado actual, con el fin de determinar sus condiciones operativas y establecer sus necesidades de mantenimiento preventivo.

Caracterizar las fallas principales de la maquinaria y los equipos por medio de recopilación de datos históricos con la ayuda de la herramienta AMEF.

Estructurar y presentar la documentación del plan de mantenimiento preventivo, que incluye hojas de vida de los equipos, listado de repuestos y lubricantes, y procedimientos de mantenimiento con base en la información de los manuales del fabricante y otras fuentes.

Definir y elaborar rutinas de mantenimiento preventivo para los equipos de los laboratorios, estableciendo actividades y frecuencia de aplicación.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, en su sede principal de Bogotá, posee laboratorios dotados con una gran variedad de equipos y herramientas, los cuales son fundamentales a lo largo del desarrollo del programa, dado que permiten a los estudiantes realizar prácticas de laboratorio para aplicar conocimientos teóricos en contextos técnicos reales, fortaleciendo así su proceso de aprendizaje y formación profesional. Como lo indica Gómez¹, un estudiante difícilmente adquiere las competencias de una unidad de aprendizaje sin la experiencia presencial que implica el desarrollo de prácticas de laboratorio.

La Facultad dispone de seis laboratorios excluyendo los de electrónica y automatización: laboratorio de hidráulica, laboratorio de manufactura multieje y ensayos mecánicos, laboratorio de máquinas y herramientas, laboratorio de calderas, laboratorio de motores y soldadura, y laboratorio de metrología, ubicados en el edificio Ángel Calatayud². En la actualidad, el único laboratorio que cuenta con un plan de mantenimiento preventivo es el de máquinas y herramientas; por ello, los demás equipos han sido sometidos principalmente a mantenimientos correctivos a medida que presentan fallas, o a intervenciones preventivas superficiales.

Los técnicos encargados del mantenimiento no cuentan con documentación ni un cronograma establecido para ejecutar estas actividades en cada equipo, lo cual dificulta la asignación de fechas y el uso adecuado de los laboratorios por parte de estudiantes y docentes. En concordancia con esta problemática, la literatura señala que el mantenimiento adecuado de los equipos favorece su eficiencia, precisión y calidad en los resultados, además de prevenir fallos inesperados que generan pérdidas de tiempo, información y costos elevados en reparaciones³. Con el fin de obtener información directa sobre el impacto de las fallas en los laboratorios, se realizó una encuesta dirigida a docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Los resultados evidenciaron que el 100 % de los participantes ha debido suspender o reprogramar clases y prácticas de investigación por fallas en los equipos. Asimismo, reportaron que dichas situaciones se presentaron entre una y tres veces durante el semestre académico y que, en actividades de investigación, los tiempos de inactividad superaron un mes. Estos resultados reflejan la necesidad de establecer un plan de mantenimiento preventivo que reduzca las interrupciones académicas y garantice la disponibilidad continua de los equipos.

¹ GÓMEZ DE LA FUENTE, María Idalia. *La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería*. [En línea]. Nov. 2013. Disponible en: http://eprints.uanl.mx/10531/1/61_editorial.pdf [Consultado: 13 mayo 2025].

² UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. *Ciencias Básicas – USTA – Servicios y Horarios*. [En línea]. Disponible en: <https://cienciasbasicas.usta.edu.co/index.php/laboratorios/servicios-y-horarios>

³ MYM INSTRUMENTOS TÉCNICOS. *Importancia del mantenimiento en los equipos para laboratorio*. [En línea]. Disponible en: <https://myminstrumentostecnicos.com/importancia-del-mantenimiento-en-los-equipos-para-laboratorio/>

Según las estadísticas suministradas por la Dirección de Laboratorios, basadas en una presentación institucional, el uso de los laboratorios por parte de los estudiantes de Ingeniería Mecánica entre 2022 y 2024-I ha sido significativamente mayor frente a las demás facultades. Se estima que cerca del 71 % del total de horas corresponde a actividades académicas y proyectos, lo cual evidencia la importancia de implementar un plan de mantenimiento preventivo y una documentación organizada que asegure el uso continuo de los equipos⁴.

Realizar inspecciones previas y posteriores al uso de los equipos contribuye a garantizar su correcto funcionamiento. La literatura sobre mantenimiento industrial recomienda efectuar revisiones iniciales en toda maquinaria crítica antes de su operación, aun cuando parezcan procedimientos rutinarios, ya que son fundamentales para prevenir accidentes, reducir riesgos y asegurar el adecuado mantenimiento de los equipos⁵. La mayoría de los incidentes con equipos en los laboratorios se debe a estudiantes que no poseen conocimientos básicos sobre su manipulación o se encuentran en proceso de aprendizaje, lo que afecta la vida útil de los dispositivos.

Como ejemplo de lo anterior, al consultar con el laboratorista, se evidenció un incidente con un micrómetro en el laboratorio de metrología. Este instrumento requiere el uso de guantes durante su manipulación; sin embargo, al utilizarlo sin la protección adecuada, se depositaron partículas en el husillo. Posteriormente, el instrumento fue almacenado sin realizar la limpieza correspondiente, ocasionando que el husillo quedara atrapado dentro del tambor, lo que dejó el micrómetro fuera de servicio.

En términos generales, el problema identificado radica en la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo y debidamente documentado para los equipos de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica, situación que genera fallas recurrentes, tiempos de inactividad prolongados, suspensión de clases y retrasos en procesos de investigación. Esto afecta la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, así como el cumplimiento de los objetivos formativos de los estudiantes. Por tanto, se hace necesario diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo que contribuya a mejorar la disponibilidad de los equipos, extender su vida útil y optimizar los recursos destinados a la gestión de los laboratorios.

⁴ OVEDA ÁVILA, Jeimy Mercedes. *Estadísticas de usabilidad de laboratorios*. [Presentación PowerPoint]. s.l.: Dirección de Laboratorios, Universidad Santo Tomás, s.f. Archivo compartido internamente.

⁵ MANTIS SOFTWARE. *Importancia de la inspección previa a la operación de toda maquinaria crítica – Safety Mantis*. [En línea]. Disponible en: <https://www.safetymantis.com/2023/07/02/importancia-de-la-inspeccion-previa-a-la-operacion-de-toda-maquinaria-critica/>

1.4. JUSTIFICACIÓN

El buen estado de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica se requiere para actividades académicas, experimentales y extracurriculares, además de proporcionar seguridad a los estudiantes. Por lo tanto, es necesario un plan de mantenimiento preventivo, debido al uso de equipos especializados y complejos que son indispensables para las prácticas estudiantiles, tanto en investigaciones como en proyectos académicos.

Incorporar un plan de mantenimiento preventivo para los laboratorios sería una mejora en la vida útil estimada y el aprovechamiento de recursos económicos. No solo es un requisito básico, sino que también es una buena inversión para el desarrollo académico y la seguridad dentro de las instalaciones. Esto podría impactar positivamente a los profesores y estudiantes de la institución, facilitándoles el uso de las instalaciones. La falta de mantenimiento o un mantenimiento incorrecto, puede resultar en daños costosos, interrupción de actividades académicas y, en el peor de los casos, la pérdida de los equipos por fallas irreparables.

Un plan de mantenimiento no es únicamente realizar actividades protocolarias para conservar las maquinas en un estado óptimo de funcionamiento, sino que, implica desarrollar documentación de los equipos disponibles en cada laboratorio, inspeccionar que equipos fallan con frecuencia, cuáles son las causas a las que se deban esos fallos, si son comunes o si se están usando de una forma inadecuada. Actualmente la dirección de laboratorios no cuenta con un orden en la documentación y hojas de vida de los equipos, en algunos casos tienen que localizar los equipos por medio del código de inventario, lo que dificulta la identificación de los equipos.

Este trabajo se proyecta como un aporte en cuanto a la organización básica con la que ya cuenta el laboratorio como hojas de vida de los equipos, mejorando el orden de la documentación de las máquinas de los laboratorios, integrando todas las hojas de vida en un mismo archivo lo que facilitará la identificación de los equipos en cada laboratorio, ya sea por el nombre de la máquina, foto del equipo o código de inventario. Asimismo, se contempla la implementación de herramientas que permitan ejercer un control más preciso sobre la situación actual de cada equipo, con el fin de identificar en cualquier momento si alguno se encuentra inhabilitado por falta de repuestos o fuera de servicio, lo que contribuiría a una gestión más eficiente de los recursos del laboratorio.

1.5. MARCO TEÓRICO

¿Qué es el mantenimiento?

El mantenimiento es un grupo de procedimientos o actividades que se les realizan a las máquinas y herramientas de trabajo para preservarlas en las mejores condiciones de productividad y seguridad. Este no se limita únicamente a hacer intervenciones de prevención, sino que contribuye a la mejora de los procesos productivos ⁶.

Actualmente los equipos e instalaciones no cuentan con la capacidad de mantenerse en buen funcionamiento por sí mismos, se debe organizar un grupo de personas, para que se encarguen de las actividades de mantenimiento ⁷.

Tipos de mantenimiento:

Mantenimiento correctivo

Como su nombre lo indica, el mantenimiento correctivo consiste en corregir las fallas que se presenten en cualquier momento. En otras palabras, es el propio equipo quien determina las paradas. Su principal objetivo es reactivar el equipo lo más rápido y con el mínimo costo posible⁷.

Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se basa en la implementación de un conjunto de revisiones regulares que se programan para conocer el estado de las maquinarias y así evitar paros o el desgaste de los equipos e infraestructura por medio de procedimientos que posponen la manifestación de fallas o cuando estas estén en estados iniciales⁸.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo aporta a reducir el tiempo de parada, esto permite hacer una inspección de los problemas de las máquinas, optimizar el manejo del personal dedicado al mantenimiento y examinar el comportamiento de las máquinas en tiempo real, logrando niveles óptimos de rendimiento ⁸.

⁶ OLIVES MASIP, Ramon. *Mantenimiento preventivo*. [En línea]. Disponible en: https://treball.gencat.cat/web/.content/09_-_seguretat_i_salut_laboral/publicacions/imatges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf

⁷ SENA. *Manual de Mantenimiento*. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/#

⁸ CARGUACHI, José; GÓMEZ, Óscar y YARAD, Mélanie. *Bases del mantenimiento industrial*. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/672652988/Bases-del-mantenimiento-industrial-Conceptos-y-practicas-fundamentales>

Mantenimiento en entornos educativos

El mantenimiento en instituciones educativas es importante, ya que, permite un buen funcionamiento en las instalaciones, incluyendo aulas, laboratorios, áreas comunes, entre otros. Ya que el sector educativo dispone de un gran número de equipos que presentan condiciones específicas en términos de mantenimiento. Para las instituciones, se trata de garantizar tanto el confort como en el aprendizaje y la seguridad, a su vez que se aprovechan al máximo sus recursos⁹.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso mediante el cual las organizaciones determinan cuales son los activos físicos esenciales, por ejemplo, maquinas o herramientas, necesarios para producir insumos y crear una estrategia integral para conservarlos en línea y operando en un nivel óptimo. El propósito final es maximizar la disponibilidad de equipos y al mismo tiempo reducir la demanda de reemplazar activos, y así reducir costos. A diferencia de otros enfoques de mantenimiento, este método considera cada activo de forma individual, tomando en cuenta sus requerimientos particulares, su relevancia dentro del proceso global y la forma en que debe ser supervisado y conservado¹⁰.

Total Productive Maintenance (TPM)

Es una estrategia integral de mantenimiento de equipos orientada a alcanzar una producción sin fallos, sin averías, sin paradas pequeñas ni marcha lenta, sin defectos, además, valora un entorno de trabajo seguro sin accidentes.

El TPM se enfoca en realizar mantenimiento proactivo y preventivo para optimizar el rendimiento de los equipos. Busca integrar las labores de producción y mantenimiento, promoviendo la formación de los operadores para que participen activamente en el cuidado de sus máquinas.

La implementación de un programa de TPM genera un sentido de responsabilidad conjunta respecto a los equipos, fomentando una mayor participación del personal de planta. En el entorno adecuado, esto resulta muy efectivo para incrementar la productividad, al mejorar la disponibilidad de los equipos, acortar los tiempos de operación y disminuir los defectos¹¹.

⁹ DIMO MAINT. *Escuela, universidad, grupo escolar: ¿cómo gestionar el mantenimiento de sus equipos e instalaciones?* [En línea]. Disponible en: <https://www.dimomaint.es/facility-management/mantenimiento-centros-escolar/>

¹⁰ IBM. *¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad?* [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/reliability-centered-maintenance>

¹¹ LEAN PRODUCTION. *Introduction to Lean Manufacturing*. [En línea]. Disponible en: https://www.leanproduction.com/?_gl=117ue44h_gcl_auMTkyNTE3MzQxNy4xNzQ0MzE5MjA3_gaMjQ2MzgzODc1LjE3NDQzMtKyMDC._ga_G1R36N8RMN*MTc0NDg0NjkwOC4yLjEuMTc0NDg0NjkyMy4wLjAuMA

Lean Maintenance

El Lean Maintenance es una estrategia que tiene como objetivo minimizar los desperdicios y las ineficiencias en la gestión de recursos físicos.

El Mantenimiento Lean, o mantenimiento ajustado, es una metodología orientada a la gestión eficiente de los activos físicos y de capital de una empresa. Su finalidad es eliminar actividades innecesarias en las operaciones diarias, reduciendo desperdicios y aumentando tanto la eficiencia como la productividad global de la organización¹².

Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

Es una metodología para el análisis de riesgo usada con frecuencia por las organizaciones, se conoce como AMEF o AMFE: Análisis de Modos y Efectos de Fallas. Esta herramienta se aplica principalmente durante las etapas de diseño de un proceso o producto, con el objetivo de identificar posibles fallos, evaluar los riesgos críticos asociados y definir las acciones correctivas y preventivas correspondientes.

Muchos Sistemas de Gestión de Continuidad de Negocios (SGCN), particularmente en el sector industrial, se basan en el AMEF. Esta herramienta es la que permite identificar sistemáticamente los riesgos mediante el análisis de fallos potenciales en productos, servicios, procesos o sistemas, facilitando la definición de medidas preventivas y la implementación de controles adecuados que eviten la ocurrencia de estas.

El AMEF contribuye de manera significativa identificando errores o fallas potenciales, especialmente en los procesos de producción, con el propósito de eliminarlos o de minimizar el riesgo asociado a las mismas ¹³.

Que es un indicador en mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento son aquellos que permiten evaluar la eficiencia y el desempeño de las actividades realizadas con el fin de cumplir los objetivos establecidos en la gestión del mantenimiento, tales como la disminución de tiempos de para o la optimización de costos. Estos indicadores funcionan como herramientas de seguimiento que facilitan el análisis del comportamiento de los equipos a lo largo del tiempo, permitiendo identificar su estado actual y definir las acciones necesarias para alcanzar las metas propuestas¹⁴.

¹² EDITORIAL TEAM. *Qué es el Lean Maintenance y cómo implantarlo*. [En línea]. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/que-es-el-lean-maintenance-y-como-implantarlo/>

¹³ ESGINNOVA. *ISO 22301: Metodología para el Análisis de Riesgos (AMEF)*. [En línea]. Disponible en: <https://www.isotools.us/2019/08/28/iso-22301-metodologia-para-el-analisis-de-riesgos-amef/>

¹⁴ CEGID. *¿Qué son los Indicadores de Mantenimiento?* [En línea]. Disponible en: <https://www.cegid.com/ib/es/blog/indicadores-de-mantenimiento-gp/>

Tipos de indicadores:

Indicador de confiabilidad MTBF

El Tiempo Medio Entre Averías (MTBF, por sus siglas en inglés Mean Time Between Failures), se considera uno de los indicadores clave para evaluar la disponibilidad operativa de un equipo. Este parámetro refleja el intervalo promedio de funcionamiento continuo de una máquina entre dos fallas consecutivas. Un valor elevado de MTBF sugiere una mayor confiabilidad del sistema, lo que implica una reducción significativa en los periodos de inactividad no planificada.

Para realizar el cálculo del MTBF se debe considerar la diferencia entre el tiempo total de operación disponible y el tiempo no operativo o perdido, la cual se divide entre el número total de fallas o paradas registradas. Este procedimiento se expresa matemáticamente mediante la siguiente fórmula.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$$

Donde el tiempo disponible se refiere al total de horas durante las cuales la máquina pudo haber estado en operación, el tiempo de inactividad corresponde al número de horas en que la máquina permaneció detenida, y el número de paradas representa la cantidad de averías registrada¹⁵.

Indicador de mantenimiento MTTR

El Tiempo Medio de Reparación (MTTR, por sus siglas en inglés Mean Time To Repair) representa el promedio de tiempo que transcurre desde que un equipo entra en estado de parada programada por mantenimiento o por una falla funcional, hasta el momento en que vuelve a estar operativo.

En esta métrica, se busca que el tiempo de reparación sea lo más reducido posible, idealmente ajustado a los tiempos estándar establecidos para los procedimientos de mantenimiento específicos. No obstante, diversos factores pueden influir en un MTTR elevado, lo que repercute negativamente en la eficiencia y eficacia de las tareas de reparación.

Para calcular el MTTR, se debe sumar el tiempo total dedicado a realizar las reparaciones durante un determinado periodo de tiempo entre el número de reparaciones, es decir:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de paradas}}$$

¹⁵ INFRASPEAK TEAM. *¿Qué es el MTBF y cómo calcularlo? (MTBF vs MTTR)*. [En línea]. Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/que-es-mtbf/>

Es importante mirar lo qué significa el número de paradas ya que existen dos tipos de paradas. Aquellas no planificadas provocadas por fallas funcionales y aquellas planificadas por la gestión de mantenimiento¹⁶.

Metodología 5 ¿Por qué?

La técnica de los Cinco Por Qué (5P) es una herramienta útil para la identificación de causas raíz en la ocurrencia de fallas o incidentes dentro de equipos y organizaciones. Su propósito principal es profundizar en el análisis del problema, evitando atribuir responsabilidades individuales de manera simplista, y orientándose hacia la búsqueda de soluciones duraderas.

Esta metodología consiste en formular reiteradamente la pregunta "¿por qué?", al menos cinco veces, con el fin de profundizar en la comprensión del fenómeno o situación analizada. Aunque las respuestas iniciales suelen revelar causas superficiales o inmediatas, a medida que se avanza en el cuestionamiento se pueden identificar las causas subyacentes que originan el problema¹⁷.

Software de mantenimiento

Un software de mantenimiento es una herramienta que ayuda a desarrollar un mantenimiento inteligente en un entorno empresarial. El objetivo de este software es gestionar de forma eficiente todos los procesos de mantenimiento.

Entre sus funcionalidades tenemos planificación y control de mantenimiento, control de tareas y operaciones programadas, monitorización en tiempo real e integración de sistemas y maquinas. Un software de mantenimiento compila datos de diferentes fuentes para predecir con precisión, posibles problemas de mantenimiento, advirtiendo posibles incidentes.

Tipos de software de mantenimiento:

CMMS/GMAO – Gestión de mantenimiento asistida por ordenador

Es un sistema enfocado en la gestión de problemas de mantenimiento de activos físicos, principalmente maquinaria industrial. Un CMMS es útil para identificar y anticiparse a los problemas y buscar una solución rápidamente, reduciendo el tiempo muerto.

EAM – Sistema de gestión de activos empresariales

¹⁶ ROSALES, Jean. *MTTR: ¿Cómo medir el tiempo de reparación?* [En línea].

Disponible en: <https://www.fracttal.com/es/mantenipedia/que-es-el-mttr-formula-y-calculadora-online-del-mttr>

¹⁷ PROGRAMA LIDERAZGO EDUCATIVO DE LA UDP. *Los cinco por qué o 5P*. [En línea].

Disponible en: <https://liderazgoeducativo.udp.cl/cms/wp-content/uploads/2020/04/Los-5P.pdf>

Es un programa que se implementa para la gestión de activos físicos de una empresa. Este sistema se usa para realizar la supervisión del equipamiento en una oficina.

CAFM – Gestión de infraestructura asistida por ordenador

Un CAFM ayuda a gestionar activos, instalaciones y personal, dentro del espacio provisto. Este tipo de sistemas ofrece las soluciones más eficientes para el uso de espacio disponible¹⁸.

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología empleada en la gestión de mantenimiento para identificar y clasificar los equipos de una planta industrial según su grado de importancia en el funcionamiento general del sistema. Su objetivo principal es optimizar el uso de los recursos disponibles, priorizando el mantenimiento y monitoreo de los equipos cuya falla o mal funcionamiento podría afectar de manera significativa los resultados de la empresa.

Este análisis permite diferenciar entre equipos altamente críticos, críticos, importantes y prescindibles, basándose en su impacto potencial en áreas clave como la producción, la calidad del producto, los costos de mantenimiento y la seguridad, incluyendo riesgos al medio ambiente y a las personas.

Este análisis es fundamental para establecer estrategias de mantenimiento eficaces, ya que facilita la toma de decisiones orientadas a la confiabilidad operativa, la reducción de costos y la mejora continua de los procesos industriales¹⁹.

¹⁸ FRACTTAL. *¿Qué es un software de mantenimiento?* [En línea]. Disponible en: <https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/que-es-un-software-de-mantenimiento>

¹⁹ GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. s.l.: s.n., 2003.

2. DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS MAQUINAS DE LOS LABORATORIOS

2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

En este apartado se identificarán los equipos correspondientes a los laboratorios seleccionados: Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura, pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Mecánica.

La información presentada en las siguientes tablas fue recolectada mediante entrevistas a los laboratoristas encargados de los laboratorios mencionados, inspecciones visuales previas y datos suministrados por la dirección de los laboratorios. Cabe resaltar que actualmente no se dispone de una base de datos escrita sobre el historial de funcionamiento y fallas de los equipos, ni de información detallada respecto a si estos fueron adquiridos nuevos o de segunda mano.

2.1.1. Laboratorio multieje ensayos mecánicos.

Fig. 1. Laboratorio de manufactura multieje y ensayos mecánicos



Fuente: elaboración propia.

Fig. 2. Laboratorio de manufactura multiteje y ensayos mecánicos



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Inventario de equipos del laboratorio de manufactura multiteje y ensayos mecánicos

Ítem	Código	Equipo
1	10064295	CENTRO DE MECANIZADO FINETECH GTX 170
2	10015485	MAQUINA DE LOS ÁNGELES CON MOTOR TRIFÁSICO
3	10015480	MAQUINA DE IMPACTO MANUAL (ALEMANA)
4	10064294	TORNO POLYGIM DIAMOND 20CSB
5	10001679	MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K
6	10063827	COMPRESOR ACOPLE POLEAS DE ALTO RENDIMIENTO MOD GX4 MONTADO
7	10084909	BANCO DE ENTRENADOR NIVEL UNO Y TRES

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra de forma gráfica cada uno de los equipos pertenecientes al Laboratorio de Multiteje Ensayos Mecánicos, incluyendo información sobre su modelo y año de adquisición. Dado el tiempo transcurrido desde su compra, ninguno de estos equipos cuenta ya con garantía del fabricante, por lo que su mantenimiento y duración operativa dependen de las labores realizadas por los responsables asignados y de las acciones implementadas al inicio y cierre de cada operación.

Las tablas a continuación se realizaron en base al estado visual de los equipos, según el registro tomado en enero del año 2025.

Centro de mecanizado Finetech GTX 170

Fig. 3. Centro de mecanizado Finetech GTX 170



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 3, se observa el centro de mecanizado CNC modelo GTX 170, de marca FINETECH, procedente de Taiwán, adquirido el 11 de diciembre de 2011. Este equipo es uno de los más relevantes del laboratorio debido a su capacidad de mecanizado automatizado y su tecnología predominantemente eléctrica, electrónica, mecánica y neumática. Posee husillo de alta precisión, unidad de control NE21I APRA, regulador trifásico, y se opera mediante software especializado. Su alimentación es eléctrica de 220V y corriente alterna de 25 kVA. Actualmente, se encuentra en buen estado operativo, sin fallas visibles, y presenta un adecuado funcionamiento de sus sistemas de seguridad. Su clasificación es de uso fijo dentro del laboratorio, y no presenta exposición a condiciones ambientales adversas.

Tabla 2. Condiciones generales centro de mecanizado Finetech GTX 170

Estado del husillo de alta precisión	Bueno	Estado del sistema neumático	Bueno
Estado de guías lineales	Bueno	Estado del botón de emergencia	Funcionando
Estado del regulador trifásico	Bueno	Estado del sistema de refrigeración	Bueno
Estado del panel de control	Bueno	Estado de pintura	Bueno
Estado del sistema eléctrico	Bueno	Estado de componentes móviles (eje/pluma)	Bueno
Fecha de compra	11 dic 2011	Garantía	Caducada

Fuente: elaboración propia.

Máquina de los ángeles con motor trifásico

Fig. 4. Máquina de los ángeles con motor trifásico



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 4, se presenta la Máquina de Los Ángeles con motor trifásico, utilizada en ensayos de abrasión y desgaste en agregados pétreos. El equipo cuenta con un tambor giratorio de gran capacidad, estructura fija y motor eléctrico que opera a una frecuencia de 60 Hz. Su tecnología predominante es de tipo eléctrico, electrónico y mecánico. El equipo está clasificado como de uso fijo dentro del laboratorio y no opera fuera de él. Según la revisión técnica, tanto el sistema eléctrico como el motor, el tambor, los rodamientos y el sistema de cierre se encuentran en buen estado. Su funcionamiento actual es óptimo y no presenta fallas visibles. La fecha de adquisición no está registrada y su garantía se encuentra caducada.

Tabla 3. Condiciones generales máquina de los ángeles con motor trifásico

Estado del tambor giratorio	Bueno	Estado del eje y rodamientos	Bueno
Estado del sistema eléctrico	Bueno	Fecha de compra	No registrada
Estado del sistema de cierre	Bueno	Estado de la carcasa	Bueno
Estado del motor trifásico	Bueno	Estado de pintura	Bueno
Fecha de compra	2001 Aprox.	Garantía	Caducada

Fuente: elaboración propia.

Máquina de impacto manual (alemana)

Fig. 5. Máquina de impacto manual



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 5, se aprecia la Máquina de Impacto Manual modelo PS 30, de fabricación alemana. Este equipo es utilizado para ensayos de impacto, principalmente en materiales metálicos, con el fin de evaluar su tenacidad. Presenta tecnología predominantemente mecánica, con componentes móviles que operan mediante sistema manual, sin requerimiento de alimentación eléctrica o electrónica. Está clasificada como equipo de uso fijo dentro del laboratorio y no presenta exposición a condiciones adversas. El equipo cuenta con un péndulo principal, base metálica robusta y sistema de sujeción de probetas. A pesar de su antigüedad, el equipo mantiene un funcionamiento adecuado y no presenta defectos visibles.

Tabla 4. Condiciones generales Máquina de impacto manual

Estado del péndulo	Bueno	Estado del eje de rotación	Bueno
Estado de las mordazas	Bueno	Estado de la base estructural	Bueno
Estado del sistema de freno	Bueno	Estado del sistema de sujeción	Bueno
Estado de mecanismos móviles	Bueno	Estado de pintura	Bueno
Fecha de compra	1998 Aprox.	Garantía	Caducada

Fuente: elaboración propia.

Torno Polygim Diamond 20CSB

Fig. 6. Torno Polygim Diamond 20CSB



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 6, se muestra el torno CNC POLYGIM modelo Diamond 20CSB, adquirido el 3 de diciembre de 2014 y de origen taiwanés. Es un equipo de alta precisión, utilizado en procesos de mecanizado automatizado. Presenta tecnología combinada: eléctrica, electrónica, mecánica y neumática. Su voltaje de operación es de 220 V y su peso aproximado es de 2668 kg. Cuenta con partes móviles activadas por compresor y regulador trifásico, elementos que permiten el control eficiente de sus movimientos. El equipo está clasificado como de uso fijo dentro del laboratorio. Actualmente, se encuentra en buen estado funcional y no presenta fallas visibles. El equipo no presenta condiciones de exposición adversas.

Tabla 5. Torno Polygim Diamond 20CSB

Estado del husillo	Bueno	Estado del regulador trifásico	Bueno
Estado del compresor	Bueno	Estado del cabezal	Bueno
Estado de guías	Bueno	Estado del botón de emergencia	Funcionando
Estado de servomotores	Bueno	Estado de pintura	Bueno
Estado del sistema eléctrico	Bueno	Estado de la base	Bueno
Fecha de compra	03 dic 2014	Garantía	Caducada

Fuente: elaboración propia.

Máquina universal Shimadzu 500K

Fig. 7. Máquina universal Shimadzu 500K



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 7, se muestra la máquina universal de ensayos marca SHIMADZU, modelo UH-50A, adquirida el 29 de junio de 2001. Este equipo, de origen japonés, es utilizado para realizar ensayos de tracción, compresión y flexión en materiales metálicos y no metálicos. Su tecnología integra componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos. Opera con una fuente de alimentación de 220 V a una frecuencia de 50/60 Hz, y cuenta con software de control Winsoft Shimadzu. Está clasificada como equipo de uso fijo dentro del laboratorio y dispone de un módulo adicional para ensayos de flexión. Actualmente, se encuentra en buen estado operativo, con todos sus sistemas funcionales, incluyendo el sistema hidráulico, sensores, celdas de carga y módulo de control.

Tabla 6. Condiciones generales Máquina universal Shimadzu 500K

Estado de celda de carga	Bueno	Estado del sistema hidráulico	Bueno
Estado del módulo de flexión	Bueno	Estado de estructura metálica	Bueno
Estado de sensores	Bueno	Estado del sistema eléctrico	Bueno
Estado del panel de control	Bueno	Estado de pintura	Bueno
Fecha de compra	29 jun 2001	Garantía	Caducada

Fuente: elaboración propia.

Compresor Atlas Copco gx4 p csa/ul

Fig. 8. Compresor Atlas Copco gx4 p csa/ul



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 8, se presenta el compresor de acople por poleas de alto rendimiento modelo GX4 P, de la marca Atlas Copco, utilizado para generar y suministrar aire comprimido a los diferentes equipos y herramientas neumáticas del laboratorio. Este equipo cuenta con un sistema de compresión de tornillo rotativo lubricado por aceite, accionado mediante un motor eléctrico trifásico de 4 kW (≈ 5 HP) y transmisión por correas. Opera a una presión máxima de 10 bar (145 psi), con alimentación eléctrica a 230 V, 60 Hz. Su tecnología predominante combina sistemas eléctricos, electromecánicos, mecánicos y neumáticos. El compresor está clasificado como de uso fijo dentro del laboratorio y se encuentra en buen estado operativo, de acuerdo con la inspección realizada.

Tabla 7. Condiciones generales compresor Atlas Copco gx4 p csa/ul

Estado del conjunto de compresión	Bueno	Estado del sistema eléctrico	Bueno
Estado del sistema de transmisión	Bueno	Estado de la carcasa	Bueno
Estado del sistema de filtrado	Bueno	Estado del sistema de lubricación	Bueno
Estado del tanque	Bueno	Estado de purga de condensado	Bueno
Fecha de compra	2013 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Banco de entrenador nivel 1 y 3

Fig. 9. Banco de entrenador nivel 1 y 3



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 9, se presenta el Banco de Entrenador Nivel Uno y Tres de la marca LAB-VOLT, modelo G338766, adquirido el 24 de noviembre de 2015. Este sistema didáctico se utiliza para el desarrollo de prácticas académicas en mecánica, electricidad, electrónica, hidráulica y neumática, permitiendo a los estudiantes aplicar y reforzar los conceptos teóricos vistos en clase. El equipo está clasificado como de uso fijo, cuenta con un esquema de mantenimiento anual y una vida útil estimada de 20 años. Actualmente se encuentra en buen estado operativo y constituye un recurso esencial para la formación práctica en los laboratorios.

Tabla 8. Condiciones generales Banco de entrenador nivel 1 y 3

Estado del sistema eléctrico	Bueno	Estado de los módulos de entrenamiento	Bueno
Estado del sistema mecánico	Bueno	Estado del sistema de control (electrónico)	Bueno
Estado del sistema hidráulico	Bueno	Estado del sistema neumático	Bueno
Fecha de compra	24 Nov 2015	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Laboratorio de soldadura.

Fig. 10. Laboratorio de soldadura



Fuente: elaboración propia.

Fig. 11 Laboratorio de soldadura



Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Inventario de equipos del laboratorio de soldadura

Ítem	Código	Equipo
1	10050397	EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225
2	10050396	EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225
3	10050395	EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225
4	10013189	EQUIPO SOLDADOR RECTIFICADOR MARCA LINCOLN 250A
5	10062484	EQUIPO DE SOLDADURA REVESTIDO DE 160 AMP. REF. WEST - ARCO
6	10062483	EQUIPO INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE 250 AMPERIOS DE WEST - ARCO
7	10062486	EQUIPO DE SOLDADURA HYPER THERM WERMAX 30 XP
8	NN	HORNO (MUFLA)
9	10079677	TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra de forma gráfica cada uno de los equipos pertenecientes al Laboratorio de Soldadura, incluyendo información sobre su modelo y año de adquisición. Dado el tiempo transcurrido desde su compra, ninguno de estos equipos cuenta ya con garantía del fabricante, por lo que su mantenimiento y duración operativa dependen de las labores realizadas por los responsables asignados y de las acciones implementadas al inicio y cierre de cada operación.

Las tablas a continuación se realizaron en base al estado visual de los equipos, según el registro tomado en enero del año 2025.

Equipo de soldadura Lincoln C 225 x3

Fig. 12. Equipo de soldadura Lincoln C 225



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 12, se observa el equipo de soldadura de arco AC 225 de la marca LINCOLN ELECTRIC, de origen colombiano. Es una fuente de poder monofásica de corriente constante, diseñada principalmente para soldadura con electrodo revestido. Este equipo se encuentra disponible únicamente en el modelo de corriente alterna (AC). Su tecnología es predominantemente eléctrica, con una alimentación de 220V. Cuenta con una estructura fija y opera mediante electricidad. No posee componentes electrónicos avanzados ni sistemas computarizados. Actualmente se encuentra operativo, con uso frecuencia media en prácticas de laboratorio. Se clasifica como equipo fijo, sin exposición directa a condiciones ambientales adversas.

Tabla 10. Condiciones generales Equipo de soldadura Lincoln C 225

Estado del cableado eléctrico	Bueno	Estado del chasis/pintura	Bueno
Estado del selector de corriente	Funcional	Estado del porta electrodos	Bueno
Estado de conexiones	Bueno	Estado de la pinza a tierra	Bueno
Estado general del equipo	Bueno	Estado del botón de apagado	Funcional
Fecha de compra	2007 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Equipo soldador rectificador Lincoln 250A

Fig. 13. Equipo soldador rectificador Lincoln 250A



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 13, se evidencia el equipo de soldadura IDEALARC 250A de la marca LINCOLN ELECTRIC, de procedencia colombiana. Es una fuente de poder de corriente constante diseñada para soldadura con electrodo revestido (SMAW), capaz de operar tanto en corriente alterna (AC) como en corriente directa (DC), lo que le permite una amplia versatilidad en procesos de soldadura. Este equipo produce hasta 300 A de potencia y trabaja a 250 V, con un desempeño suave en soldadura de CD. Su tecnología es predominantemente eléctrica, y se encuentra clasificado como equipo fijo, sin exposición a condiciones ambientales adversas. La fuente se encuentra en estado operativo y es utilizada regularmente en el laboratorio.

Tabla 11. Condiciones generales Equipo soldador rectificador Lincoln 250A

Estado del cableado eléctrico	Bueno	Estado del chasis/pintura	Bueno
Estado del selector de corriente	Funcional	Estado del porta electrodos	Bueno
Estado de conexiones	Bueno	Estado de la pinza a tierra	Bueno
Estado general del equipo	Bueno	Estado del botón de apagado	Funcional
Fecha de compra	2007 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Equipo de soldadura revestido de 160A. West Arco

Fig. 14. Equipo de soldadura revestido de 160A. West Arco



Fuente: elaboración propia

En la Fig. 14, se observa el equipo de soldadura revestido de 160A, de marca West Arco, de procedencia colombiana. Este equipo es utilizado en el laboratorio de soldadura para procesos de soldadura con electrodo revestido, destacándose por su tecnología de tipo eléctrico. Opera con una corriente alterna de 35 A y un voltaje de 200 V, siendo capaz de alcanzar temperaturas de hasta 1000 °C. Su peso es de 7.5 kg, lo cual facilita su movilidad. El equipo cuenta con partes móviles como pinza de porta electrodo y pinza de polo a tierra. Este equipo presenta una frecuencia de uso media, lo cual implica una carga operativa constante pero no excesiva. Actualmente se encuentra en buen estado de funcionamiento y no ha reportado fallas visibles en su operación. Está clasificado como equipo móvil, lo cual implica que puede estar expuesto a condiciones externas al laboratorio.

Tabla 12. Condiciones generales Equipo de soldadura revestido de 160A. West Arco

Estado del cableado eléctrico	Bueno	Estado del chasis/pintura	Bueno
Estado del selector de corriente	Funcional	Estado del porta electrodos	Bueno
Estado de conexiones	Bueno	Estado de la pinza a tierra	Bueno
Estado general del equipo	Bueno	Estado del botón de apagado	Funcional
Fecha de compra	2006 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Equipo inversor electrodo revestido De 250A. West Arco

Fig. 15. Equipo inversor electrodo revestido De 250A. West Arco



Fuente: elaboración propia

En la Fig. 15, se muestra el equipo de soldadura Inversor WS-250, de marca West Arco, fabricado en Colombia. Este equipo es empleado en el laboratorio para procesos de soldadura con electrodo revestido, utilizando tecnología de tipo eléctrica, y operando con una corriente alterna de 35 A y un voltaje de 200 V. Puede alcanzar temperaturas de hasta 1000 °C, y presenta un peso de 7.5 kg, lo que le permite ser clasificado como equipo móvil. Este equipo cuenta con partes móviles tales como la pinza de porta electrodo y la pinza polo a tierra, necesarias para su funcionamiento. Actualmente, se encuentra en buen estado de funcionamiento, sin presentar fallos visibles ni reportes de averías recientes.

Tabla 13. Condiciones generales Equipo inversor electrodo revestido De 250A. West Arco

Estado del cableado eléctrico	Bueno	Estado del chasis/pintura	Bueno
Estado del selector de corriente	Funcional	Estado del porta electrodos	Bueno
Estado de conexiones	Bueno	Estado de la pinza a tierra	Bueno
Estado general del equipo	Bueno	Estado del botón de apagado	Funcional
Fecha de compra	2013 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP

Fig. 16. Equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP



Fuente: elaboración propia

En la Fig. 16, se presenta el equipo de soldadura Wermax 30 XP, de la marca Hypertherm, de origen colombiano. Este equipo opera mediante tecnología eléctrica y es utilizado principalmente para trabajos de soldadura con electrodo revestido. Su capacidad de funcionamiento incluye una corriente alterna de 35 A, un voltaje de 220 V, y una temperatura máxima de operación de 1000 °C. Tiene un peso de 7.5 kg, lo cual le permite ser clasificado como equipo móvil. Este equipo incluye partes móviles como la pinza de porta electrodo y la pinza polo a tierra, esenciales para su funcionamiento. Su estado actual es bueno, sin reportes de fallos operativos ni anomalías visibles.

Tabla 14. Condiciones generales Equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP

Estado del cableado eléctrico	Bueno	Estado del chasis/pintura	Bueno
Estado del selector de corriente	Funcional	Estado del porta electrodos	Bueno
Estado de conexiones	Bueno	Estado de la pinza a tierra	Bueno
Estado general del equipo	Bueno	Estado del botón de apagado	Funcional
Fecha de compra	2015 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Mufla (horno)

Fig. 17. Mufla (horno)



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 17, se presenta el horno (mufla) de laboratorio, un equipo destinado a realizar tratamientos térmicos a alta temperatura. Su funcionamiento es de tipo eléctrico, operando con una alimentación de corriente alterna de 220 V, y alcanzando temperaturas de hasta 2000 °C con una precisión de $\pm 2,0$ °C. Este equipo fue adquirido por compra, aunque no se registra la fecha exacta. Posee una clasificación de uso fijo, y aunque puede estar expuesto fuera del laboratorio, permanece instalado en un entorno controlado. No se identifican partes móviles ni accesorios adicionales. El equipo se encuentra actualmente en buen estado, sin reportes de fallas visibles.

Tabla 15. Condiciones generales Mufla (horno)

Estado general del cuerpo	Bueno	Estado de resistencias internas	Bueno
Estado del sistema eléctrico	Bueno	Estado del cable de alimentación	Bueno
Estado del panel de control	Bueno	Estado de sensores de temperatura	Bueno
Estado del recubrimiento interno	Bueno	Estado de la puerta	Bueno
Fecha de compra	2015 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

Taladro de árbol Craftsman

Fig. 18. Taladro de árbol Craftsman



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 18, se presenta la taladradora de banco modelo 12.434.984 de la marca CRAFTSMAN, de origen no especificado. El equipo opera mediante tecnología mecánica y eléctrica, alimentado por corriente alterna de 220 V, y se encuentra clasificado como equipo móvil, ya que puede desplazarse dentro o fuera del laboratorio según las condiciones de trabajo. Presenta un peso aproximado de 80 kg, no tiene partes móviles adicionales registradas. El estado actual del equipo es bueno, sin reportes visibles de fallas, y se encuentra disponible para uso frecuente en prácticas de laboratorio. No se cuenta con software asociado a su funcionamiento.

Tabla 16. Condiciones generales Taladro de árbol Craftsman

Estado de la carcasa	Bueno	Estado del sistema eléctrico	Bueno
Estado del botón de encendido	Bueno	Estado del sistema mecánico	Bueno
Estado del cabezal	Bueno	Estado de la columna y base	Bueno
Estado del interruptor general	Bueno	Clasificación por uso	Móvil
Fecha de compra	2013 Aprox.	Garantía	N/R

Fuente: elaboración propia.

2.2. EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN TÉCNICA

En este apartado se realizará la evaluación y clasificación técnica de los equipos pertenecientes a los laboratorios analizados, con el fin de identificar su nivel de criticidad y su frecuencia de uso. Para ello, se aplican criterios técnicos asociados a la seguridad, el impacto en el proceso, la calidad de los resultados y los requerimientos de mantenimiento. Adicionalmente, para la clasificación de la frecuencia de uso, se emplearon los datos suministrados por la dirección e información de los laboratoristas de los laboratorios referentes al uso anual de los mismos.

2.2.1. Clasificación de los equipos críticos. Para la identificación de los equipos críticos en los laboratorios se utilizó la matriz de Pugh, una herramienta cuantitativa que permite comparar alternativas a partir de múltiples criterios, facilitando la toma de decisiones y la selección de los equipos más relevantes y los criterios de criticidad de Santiago García en su libro ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO.

Los criterios de criticidad que se van a usar son los siguientes:

Tabla 17. Criterios de criticidad de los equipos

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRITICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consume una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales)
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Alfaomega, 2003. p. 25.

En la siguiente tabla se presenta el formato de evaluación que se va a utilizar para clasificar que equipos de los laboratorios son críticos con base en los criterios anteriores. A cada criterio se le asignará un valor, dependiendo de si cumple con un impacto relevante. Este ejemplo ilustra la metodología que se va a aplicar para determinar si un equipo debe considerarse crítico o no.

Tabla 18. Formato para evaluar la criticidad de los equipos

	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5
Seguridad y medio ambiente					
Producción (afecta al proceso)					
Calidad (resultados / precisión)					
Mantenimiento (frecuencia / costo)					
Total					
Clasificación					

Fuente: elaboración propia con base en GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Alfaomega, 2003. p. 25.

Con el fin de facilitar la calificación objetiva de los equipos, se estableció una escala cuantitativa de evaluación para cada uno de los criterios establecidos. Esta escala permite asignar un valor de 0 o 1, según el criterio. Si la suma total de puntos está en el rango de 0 a 2, el equipo se considera de criticidad baja, si el total de puntos es 3, el equipo se considera de criticidad media, pero si el total de puntos es 4, el equipo se considera de criticidad alta.

Tabla 19. Significado de cada puntaje obtenido en la tabla de criticidad

Valor	Significado
0 – 2	Baja criticidad: Equipos con impacto limitado en la operación del laboratorio.
3	Criticidad media: Equipos relevantes que requieren atención prioritaria.
4	Alta criticidad: Equipos esenciales cuya falla compromete gravemente la seguridad, la calidad o la continuidad del proceso.

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Evaluación de criticidad de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Criterio/ Equipo	CENTRO DE MECANIZADO FINETECH	MAQUINA DE LOS ÁNGELES	MAQUINA DE IMPACTO MANUAL	TORNO POLYGIM DIAMOND	MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZ U 500K	COMPRESOR DE ACOPLE	BANCO DE ENTRENADOR
Seguridad y medio ambiente	1	1	1	1	1	1	1
Producción	1	0	0	1	0	1	0
Calidad	1	0	1	1	1	0	1
Mantenimiento	1	1	0	1	1	1	0
Total	4	2	2	4	3	3	2
Clasificación	Criticidad Alta	Criticidad baja	Criticidad baja	Criticidad alta	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad baja

Fuente: elaboración propia con base en GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Alfaomega, 2003. p. 25.

Tabla 21. Evaluación de criticidad de los equipos del laboratorio de soldadura

Criterio / Equipo	SOLDADURA LINCOLN C 225 x3	SOLDADOR RECTIFICADOR LINCOLN	SOLDADURA REVESTIDO WEST - ARCO	INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE WEST - ARCO	SOLDADURA HYPERHERM WERMAX	MUFLA (HORNO)	TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN
Seguridad y medio ambiente	1	1	1	1	1	1	1
Producción	1	1	1	1	1	1	1
Calidad	1	1	1	1	1	1	1
Mantenimiento	1	1	0	0	0	0	1
Total	4	4	3	3	3	3	3
Clasificación	Criticidad alta	Criticidad alta	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad media

Fuente: elaboración propia con base en GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Alfaomega, 2003. p. 25.

2.2.2. Clasificación de frecuencia de uso. En la siguiente tabla se muestran los rangos para clasificar el uso de los equipos en los laboratorios, con el fin de identificar aquellos que están sometidos a más horas de trabajo. La frecuencia de uso de los equipos es un criterio importante en el diagnóstico técnico, influyendo directamente en el desgaste, el mantenimiento y la priorización de intervenciones. Para su clasificación se establecieron tres rangos: alta, media y baja.

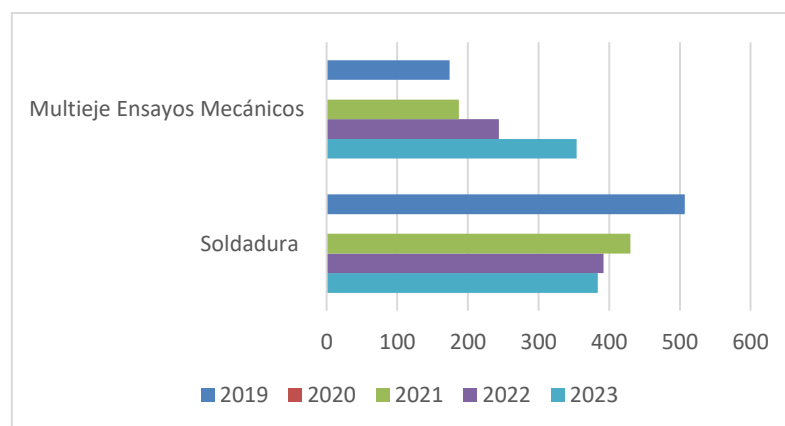
Tabla 22. Rango frecuencia de uso

Nivel	Rango de horas/año aprox.	Descripción
Alta	< 800 h	Uso intensivo casi todo el semestre
Media	800 h a 2.500 h	Uso regular en semanas académicas
Baja	> 2.500 h	Uso ocasional o puntual

Fuente: elaboración propia

Para el análisis de la frecuencia de uso de los equipos, se tuvo en cuenta la información disponible suministrada por la dirección de los laboratorios. Actualmente, no se cuenta con registros detallados sobre el uso individual de cada equipo, sino con datos generales asociados al uso global de los laboratorios. La información disponible corresponde al período comprendido entre los años 2019 y 2023; adicionalmente, no se dispone del número exacto horas de uso por año en cada laboratorio. En consecuencia, la estimación de la frecuencia de uso de los equipos se realizó de manera indirecta, tomando como referencia las horas de uso de los laboratorios por parte de la facultad de ingeniería Industrial, e información suministrada por los laboratoristas encargados de los laboratorios de multieje ensayos mecánicos y soldadura.

Fig. 19. Practicas por año facultad de ingeniería mecánica



Fuente: elaboración propia con base en la presentación “ESTADÍSTICAS USO LABS 2”, Poveda Ávila, Jeimy Mercedes, Dirección de Laboratorios, documento interno no publicado, 2024.

Tabla 23. Frecuencia de uso estimada de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Equipos	Frecuencia de uso semanal / horas	Frecuencia de uso anual / horas	Nivel de frecuencia de uso
CENTRO DE MECANIZADO FINETECH	40 – 50	1.600 – 2.000	Media
MAQUINA DE LOS ÁNGELES	2 – 4	80 – 160	Baja
MAQUINA DE IMPACTO MANUAL	10 – 15	400 – 600	Baja
TORNO POLYGIM DIAMOND	40 – 50	1.600 – 2.000	Media
MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K	10 – 15	400 – 600	Baja
COMPRESOR DE ACOPLE	30 – 45	1.200 – 1.800	Media
BANCO DE ENTRENADOR	3 – 6	120 – 240	Baja

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Frecuencia de uso estimada de los equipos del laboratorio de soldadura

Equipos	Frecuencia de uso semanal / horas	Frecuencia de uso anual / horas	Nivel de frecuencia de uso
SOLDADURA LINCOLN C 225	55 – 60	2.200 – 2.400	Media
SOLDADOR RECTIFICADOR LINCOLN	55 – 60	2.200 – 2.400	Media
SOLDADURA REVESTIDO WEST - ARCO	20 – 25	800 – 1.000	Media
INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE WEST - ARCO	20 – 25	800 – 1.000	Media
SOLDADURA HYPER THERM WERMAX	20 – 25	800 – 1.000	Media
MUFLA (HORNO)	20 – 25	800 – 1.000	Media
TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN	8 – 15	320 – 600	Baja

Fuente: elaboración propia

Los datos que aparecen en Tabla 23 y Tabla 24, son estimaciones, ya que actualmente no existe un registro en cuanto a las horas de uso por equipo. Estos datos permitieron identificar cuáles son los equipos que presentan una mayor carga operativa durante el período académico, lo cual se refleja en un mayor número de horas de operación y, en consecuencia, en un mayor nivel de desgaste y probabilidad de falla.

2.3. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LOS LABORATORIOS

En las siguientes tablas se agrupa y consolida la información recolectada en los apartados 5.1. Identificación de los equipos y 5.2. Evaluación y clasificación técnica, con el fin de presentar de manera estructurada los resultados del diagnóstico realizado a los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura.

Tabla 25. Clasificación técnica y diagnostico operativo de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Nombre del equipo	Estado actual	Frecuencia de uso	Función principal	Crítico Sí/No	Observaciones
CENTRO DE MECANIZADO FINETECH GTX 170	Bueno	Medio	Realiza operaciones automatizadas de mecanizado multieje mediante control numérico computarizado (CNC), como fresado, taladrado y contorneado, con alta precisión y repetibilidad.	Sí	Equipo en buen estado, bajo uso.
MAQUINA DE LOS ÁNGELES CON MOTOR TRIFÁSICO	Bueno	Baja	Se utiliza para determinar la resistencia a la abrasión de los agregados minerales utilizados en la construcción.	No	Equipo antiguo en buen estado.
MAQUINA DE IMPACTO MANUAL (ALEMANA)	Bueno	Baja	Realiza ensayos de impacto en probetas metálicas o plásticas para evaluar la tenacidad del material ante cargas dinámicas repentinas.	No	Equipo antiguo en buen estado.
TORNO POLYGIM DIAMOND 20CSB	Bueno	Medio	Realiza operaciones de torneado de precisión en piezas cilíndricas, bajo control numérico computarizado (CNC), permitiendo la formación de superficies internas y externas.	Sí	Equipo en buen estado, bajo uso.
MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K	Bueno	Baja	Ejecuta ensayos mecánicos de tracción, compresión y flexión para determinar las propiedades de resistencia de materiales metálicos y no metálicos.	Si	Equipo antiguo en buen estado, requiere cambio de mordazas.
COMPRESOR ACOPLA POLEAS DE ALTO RENDIMIENTO	Bueno	Medio	Generar y suministrar aire comprimido a la presión y caudal requeridos para alimentar equipos y herramientas neumáticas del laboratorio, así como sistemas auxiliares que requieran aire para su funcionamiento.	Si	Equipo en buen estado.
BANCO DE ENTRENADOR NIVEL UNO Y TRES	Bueno	Baja	Este equipo es una plataforma integral de entrenamiento que facilita el aprendizaje práctico de la ingeniería y la tecnología, reforzando los conceptos vistos en clase teórica mediante la experimentación	No	Equipo antiguo en buen estado.

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Clasificación técnica y diagnóstico operativo de los equipos del laboratorio de soldadura

Nombre del equipo	Estado actual	Frecuencia de uso	Función principal	Crítico Sí/No	Observaciones
EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225	Bueno	Media	Realizar soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido en prácticas formativas.	Sí	Funciona correctamente, no ha requerido mantenimiento correctivo.
EQUIPO SOLDADOR RECTIFICADOR MARCA LINCOLN 250A	Bueno	Media	Proveer corriente continua estable para soldadura con electrodos revestidos en procesos de alta exigencia.	Sí	Funciona correctamente, no ha requerido mantenimiento correctivo.
EQUIPO DE SOLDADURA REVESTIDO DE 160 AMP. REF. WEST ARCO	Bueno	Baja	Realizar soldadura manual de metales mediante arco eléctrico con electrodos revestidos.	Si	Funciona correctamente, bajo uso.
EQUIPO INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE 250 AMPERIOS DE CAPAC	Bueno	Baja	Ejecutar soldadura eficiente en corriente directa mediante tecnología inversora portátil.	Si	Funciona correctamente, bajo uso.
EQUIPO DE SOLDADURA HYPER THERM WERMAX 30 XP	Bueno	Bajo	Realizar cortes de precisión en metales conductores mediante tecnología de plasma.	Sí	Funciona correctamente, bajo uso.
MUFLA	Bueno	Media	Calentar materiales a altas temperaturas, a menudo en un ambiente aislado, para realizar procesos como calcinación, incineración, tratamiento térmico, cocción de materiales cerámicos, y fundición de metales.	Sí	Funciona correctamente, bajo uso.
TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN	Bueno	Baja	Perforar materiales metálicos con alta precisión y estabilidad en procesos mecánicos.	Si	Funcionamiento correcto. Base y eje en buen estado.

Fuente: elaboración propia

A partir del análisis realizado en este capítulo, se logró identificar, clasificar y evaluar de manera técnica todos los equipos pertenecientes a los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura. La información fue recolectada mediante inspección visual directa, revisión de inventarios, entrevistas con el personal encargado de los laboratorios y análisis documental, lo cual permitió construir un registro técnico completo por equipo.

Posteriormente, se aplicaron herramientas de evaluación como la matriz de Pugh y la matriz de criticidad, basada en cuatro criterios fundamentales: seguridad y medio ambiente, impacto en la producción académica, calidad del proceso y mantenimiento requerido. Esta evaluación permitió clasificar en total dieciséis equipos, siete equipos del laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos y nueve equipos del laboratorio de Soldadura. Los equipos de ambos laboratorios se clasificaron en tres categorías: criticidad baja,

criticidad media y criticidad alta, en función de su impacto operativo dentro del contexto educativo.

Como resultado del diagnóstico:

En el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos se identificaron cuatro equipos con una calificación de 4, lo que corresponde a un nivel de criticidad alta; dos equipos con una calificación de 3, equivalente a criticidad media; y tres equipos con una calificación de 2, que indica una criticidad baja.

Por otra parte, en el laboratorio de Soldadura se identificaron cuatro equipos con una calificación de 4, lo que representa un nivel de criticidad alta. Cabe resaltar que este laboratorio cuenta con tres equipos de la misma referencia (equipo de soldadura Lincoln C225), motivo por el cual solo se presentó uno de ellos en la Tabla 21. Los cinco equipos restantes obtuvieron una calificación de 3, correspondiente a un nivel de criticidad media. Estas evaluaciones se basan en el papel fundamental que desempeñan en las prácticas académicas, su complejidad operativa y el riesgo asociado a una posible falla.

La frecuencia de uso de los equipos varía considerablemente entre laboratorios, lo cual influye directamente en su nivel de desgaste, la probabilidad de ocurrencia de fallas y la importancia de establecer frecuencias de mantenimiento específicas. Esta variabilidad está estrechamente relacionada con el tipo de equipos y las condiciones de operación de cada laboratorio. En el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos, el uso de los equipos está restringido a sesiones supervisadas por docentes o laboratoristas, y en algunos casos, a estudiantes de últimos semestres o tesis, debido a su complejidad y riesgo operativo. En contraste, en el laboratorio de Soldadura, los equipos requieren únicamente una instrucción inicial por parte del docente o personal encargado, tras la cual los estudiantes pueden utilizarlos de manera autónoma para poner en práctica lo aprendido en las clases teóricas.

3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

3.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE FALLAS

Durante la ejecución del proyecto, se evidenció que los laboratorios no cuentan con registros formales o sistematizados de las fallas ocurridas en los equipos. Debido a esta limitación, se optó por realizar entrevistas dirigidas a los laboratoristas encargados de los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura, con el objetivo de recolectar información cualitativa basada en su experiencia directa con los equipos.

Las preguntas se centraron en aspectos clave como:

- ¿Con que frecuencia se usa el equipo?
- ¿Actualmente se encuentra en servicio?
- ¿Qué tipo de falla ha presentado el equipo?
- ¿Desde cuándo presenta fallas?
- ¿Qué acciones correctivas se realizaron?
- ¿Qué piezas fallan con más frecuencia?
- ¿Factores externos que afectan al equipo?
- ¿Es fácil conseguir repuestos?

Esta estrategia permitió recopilar información relevante y confiable para la construcción de un historial de fallas y de un diagnóstico técnico preliminar sobre el estado actual de los equipos. Cabe resaltar que, actualmente, la dirección de los laboratorios no dispone de un historial de fallas y registros de averías que permitan un análisis más detallado; por lo que, el diagnóstico desarrollado se basa exclusivamente en la información suministrada por los laboratoristas, obtenida a partir de su experiencia directa y conocimiento operativo de los equipos.

Las entrevistas realizadas a los laboratoristas permitieron identificar las fallas que se han presentado en los equipos, así como fallas recurrentes en los equipos de soldadura, las condiciones de operación, las prácticas de mantenimiento aplicadas y los factores externos que pueden influir en su desempeño. Cabe aclarar que actualmente no se cuenta con un registro escrito de las fallas que han presentados los equipos.

En las siguientes tablas se presenta un historial de fallas con la información recolectada.

Tabla 27. Historial de fallas del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Equipo	¿Funciona?	Tipo de falla reportada	Reparación realizada	Repuestos fáciles de conseguir	Piezas que fallan con frecuencia	Factores externos
CENTRO DE MECANIZADO FINETECH GTX 170	Sí	Daños en mordaza por mala manipulación	Reemplazo / reajuste de mordaza	Sí	N/R	No se identificaron
MAQUINA DE LOS ÁNGELES CON MOTOR TRIFÁSICO	Sí	Sistema de cierre	Cambio de tuercas	Sí	Sistema de cierre	No se identificaron
MAQUINA DE IMPACTO MANUAL (ALEMANA)	Sí	Sin fallas propias, pero difícil conseguir repuestos	Lubricación, desmontaje mordazas	No	N/R	Polvo de concreto puede afectar guías y tornillos.
TORNO POLYGIM DIAMOND 20CSB	Sí	No presenta fallas	Limpieza post uso	Sí	N/R	No se identificaron
MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZ U 500K	Sí	Requiere cambio de mordazas	Limpieza post uso	No	N/R	No se identificaron
COMPRESOR ACOPLA POLEAS DE ALTO RENDIMIENTO	Sí	No reportadas	Revisión general	Sí	N/R	No se identificaron
BANCO DE ENTRENADOR NIVEL UNO Y TRES	Sí	No reportadas	Revisión general	Sí	N/R	No se identificaron

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Historial de fallas del laboratorio de soldadura

Equipo	¿Funciona?	Tipo de falla reportada	Reparación realizada	Repuestos fáciles de conseguir	Piezas que fallan con frecuencia	Factores externos
EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225	Sí	Deterioro de cables y pinzas	Reemplazo de cables/pinzas	Sí	Cables y pinzas	No se identificaron
EQUIPO SOLDADOR RECTIFICADOR MARCA LINCOLN 250A	Sí	Deterioro de cables y pinzas	Reemplazo de cables/pinzas	Sí	Cables y pinzas	No se identificaron
EQUIPO DE SOLDADURA REVESTIDO DE 160 AMP. WEST ARCO	Sí	Deterioro de cables y pinzas	Reemplazo de cables/pinzas	Sí	Cables y pinzas	No se identificaron
EQUIPO INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE 250 AMPERIOS DE CAPAC	Sí	Deterioro de cables y pinzas	Reemplazo de cables/pinzas	Sí	Cables y pinzas	No se identificaron
EQUIPO DE SOLDADURA HYPERHERM WERMAX 30 XP	Sí	Deterioro de cables y pinzas	Reemplazo de cables/pinzas	Sí	Cables y pinzas	No se identificaron
MUFLA	Sí	Rotura de ladrillos refractarios	Reemplazo de ladrillos refractarios	Si	N/R	No se identificaron
TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN	Sí	No se reportan fallas	N/R	N/R	N/R	No se identificaron

Fuente: elaboración propia

3.2. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA AMEF

Durante la presente sección desarrollara el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) como una herramienta cualitativa que permite identificar de forma sistemática los modos de fallo potenciales en los equipos seleccionados de los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura de la universidad. Este análisis tiene como finalidad detectar riesgos a partir de fallas potenciales, lo que permite tomar acciones que eviten que las fallas se presenten.

La aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) se utiliza como una herramienta preventiva para identificar y evaluar fallas potenciales que podrían presentarse en los equipos bajo condiciones normales de operación. Es importante resaltar que las fallas analizadas mediante esta metodología no corresponden necesariamente a fallas actualmente presentes, sino a posibles modos de falla que pueden ocurrir, lo que permite anticipar riesgos y orientar la definición de acciones de mantenimiento preventivo.

Una vez seleccionado los equipos a los que se les aplicará el AMEF, se debe tener en cuenta unos parámetros en cuanto a los equipos.

La explicación del método AMEF presentada a continuación se basa en Betancourt²⁰, quien detalla los criterios de severidad, ocurrencia y detección, así como el procedimiento general de análisis.

Para iniciar la aplicación de esta herramienta, el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) se desarrolla mediante varias etapas, las cuales incluyen:

1. Descripción de los ítems

La descripción de los ítems que se van a analizar puede ser diferente, dependiendo de que perspectiva se vaya a utilizar. Para este caso se realizará en perspectiva de secuencia de actividades para identificar en la trazabilidad del producto o servicio el potencial fallo. En esta sección se va a describir que tipo de operación realiza el equipo a intervenir.

2. Determinar los modos de fallo

Lo primero que se hace en este análisis es identificar los fallos que ya han ocurrido. Si no están anotados, se deben registrar. Después, con base en las diferentes perspectivas del paso anterior, se buscan los posibles modos de fallo. Esto se refiere a las maneras en que un producto, proceso o servicio puede dejar de funcionar correctamente o no cumplir con lo que se espera de él.

²⁰ BETANCOURT, Diego Fernando. Cómo hacer un análisis del modo y efecto de fallas AMEF. [En línea]. s.f. [Consultado: 05 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/>

3. Determinar los efectos de los modos de fallo

Para cada uno de los modos de fallo detectados, tanto los ya ocurridos como los potenciales, es necesario identificar los efectos que estos generan. Estos efectos se refieren a las consecuencias que pueden impactar al cliente o a las etapas siguientes del proceso.

Es importante centrarse en los efectos inmediatos del fallo, dejando de lado los efectos posteriores o de mayor alcance. Por ejemplo, si una balanza se encuentra desajustada, el efecto final podría traducirse en la insatisfacción del cliente. No obstante, el efecto inmediato que se debe registrar en el AMEF es que el material no cumplirá con el peso previamente acordado.

4. Clasificación de severidad

La severidad o gravedad, usualmente se clasifica en una escala de 1 a 10, siendo 1 insignificante y 10 catastrófico.

Fig. 20. Clasificación de severidad

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

Fuente: tomado de Betancourt (s.f.).

5. Determinar las causas

Para cada uno de los modos de fallo, se debe determinar las causas que la generen. Este paso es muy importante, ya que al encontrar la causa por la cual se presentan los riesgos potenciales, será más probable que la actividad genere buenos resultados.

6. Clasificación de la ocurrencia

Para el índice de ocurrencia o frecuencia, que es la estimación de la probabilidad de que ocurra un fallo por la causa anotada. Al igual que la severidad, la ocurrencia se suele clasificar en una escala de 1 a 10, siendo 1 muy probable y 10 inevitable.

Fig. 21. Clasificación de ocurrencia

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

Fuente: tomado de Betancourt (s.f.).

7. Identificar los controles

Una vez determinadas las causas de los modos de fallo, el siguiente paso consiste en identificar los controles existentes. Estos controles comprenden los procedimientos, acciones, mecanismos o pruebas que actualmente se implementan con el fin de prevenir la ocurrencia de fallos y su propagación hacia el cliente o hacia procesos posteriores. Dichos controles pueden tener distintos enfoques: detectar el fallo una vez ocurrido, pero antes de que impacte al cliente, prevenir la generación de la causa del fallo, o disminuir la probabilidad de que dicha causa se manifieste.

8. Clasificación del grado de detección

En este punto se asigna un valor al nivel de detección de cada control identificado. Esto implica evaluar la capacidad del control para identificar una causa o su correspondiente modo de fallo una vez que ha ocurrido, pero antes de que impacte al cliente. Esta valoración se realiza utilizando una escala del 1 al 10, donde 1 representa una alta probabilidad de detección, y 10 indica una muy baja probabilidad de detección.

Fig. 22. Clasificación de grado de detección

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

Fuente: tomado de Betancourt (s.f.).

9. Calcular el número prioritario de riesgo (NPR)

El número prioritario de riesgo se obtiene al multiplicar el grado de severidad, ocurrencia y detección.

$$\text{NPR} = \text{Grado de severidad} * \text{Grado de ocurrencia} * \text{Grado de detección}$$

Como resultado da un número que, entre mayor sea, más repercusiones negativas tendrá en el funcionamiento del equipo. Este número nos dará información acerca de que equipos se deben priorizar.

Para este caso no se realizará el nuevo NPR.

Es importante señalar que el AMEF se aplicó únicamente para los equipos que obtuvieron una puntuación de 3 y 4 en la clasificación de criticidad presentada en el capítulo anterior, los cuales corresponden a los niveles de criticidad media y alta. A continuación, se presentan los equipos de cada laboratorio con su respectiva puntuación y clasificación.

Tabla 29. Clasificación de criticidad de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Equipo / Criterio	CENTRO DE MECANIZA DO FINETECH GTX 170	MAQUINA DE LOS ÁNGELES	MAQUINA DE IMPACTO MANUAL	TORNO POLYDIM DIAMOND 20CSB	MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K	COMPRESO R DE ACOPLE DE ALTO RENDIMIEN TO	BANCO DE ENTRENA DOR
Total	4	2	2	4	3	3	2
Clasificaci ón	Criticidad alta	Criticidad baja	Criticidad baja	Criticidad alta	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad baja

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Clasificación de criticidad de los equipos del laboratorio de soldadura

Equipo / Criterio	SOLDADUR A LINCOLN C 225 x3	SOLDADOR RECTIFICA DOR MARCA LINCOLN 250A	SOLDADUR A REVESTIDO DE 160 AMP. WEST - ARCO	INVERSOR ELECTROD O REVESTIDO DE 250 AMPERIOS DE WEST - ARCO	EQUIPO DE SOLDADUR A HYPERTHE RM WERMAX 30 XP	MUFLA (HORNO)	TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSM AN
Total	4	4	3	3	3	3	3
Clasificaci ón	Criticidad alta	Criticidad baja	Criticidad baja	Criticidad alta	Criticidad media	Criticidad media	Criticidad baja

Fuente: elaboración propia

Para entender mejor la estructura de la matriz, se presenta una tabla de cómo se realizó el AMEF. Esta tabla se puede ver en el Anexo A. AMEF_Laboratorios de manera completa y con toda la información debidamente diligenciada.

Tabla 31. Matriz AMEF

Nombre Elemento Maquina	Identificación	Operación	Modo de Falla	Efectos Potenciales de la Falla	S	Causa Potenciales de la Falla	O	Control Actual	D	NPR

Fuente: elaboración propia con base a Betancourt (s.f.).

3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA POR CRITICIDAD

Una vez realizado y obtenido los resultados del AMEF para los equipos más críticos de los laboratorios, es necesario clasificarlos por niveles de criticidad. Al catalogarlos, se priorizan las fallas más relevantes de cada equipo de acuerdo con el número de prioridad de riesgo (NPR). La clasificación en niveles de alta, media o baja criticidad facilita la toma de decisiones en el plan de mantenimiento, dando prioridad a aquellos equipos con mayor riesgo.

A continuación, se definen los criterios empleados para clasificar los valores de NPR de los subconjuntos de los equipos en una escala cuantitativa, permitiendo asignar a cada modo de falla un nivel de criticidad.

Tabla 32. Clasificación del nivel de criticidad según el NPR

Nivel de criticidad	Rango de NPR	Interpretación	Acción sugerida
Alta	$NPR \geq 150$	Riesgo elevado (impacto y/o probabilidad altos)	Intervención inmediata / plan de acción prioritario
Media	$80 \leq NPR < 150$	Riesgo moderado	Programar acciones preventivas de corto/mediano plazo
Baja	$NPR < 80$	Riesgo controlado	Mantener controles actuales y monitoreo periódico

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. NPR equipos de los equipos críticos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Equipo	Subconjunto	Modo de falla	NPR	Clasificación de criticidad
CENTRO DE MECANIZADO FINETECH GTX 170	Sistema de lubricación	Lubricación insuficiente	120	Media
	Motor principal (husillo)	Desequilibrio dinámico del husillo	120	Media
	Sistema hidráulico	Válvula de alivio atascada	120	Media
	Mordaza de sujeción	Pérdida de fuerza	108	Media
	Sistema eléctrico y electrónico	Cortocircuito por cableado dañado	108	Media
	Sistema neumático	Obstrucción en válvulas	105	Media
	Sistema de refrigeración	Refrigerante contaminado	96	Media
	Intercambiador de calor	Termostato/sensor de T° defectuoso	96	Media
	Sistema intercambio de herramientas	Sensor de posición defectuoso	96	Media
	Controlador CNC	Desajuste en parámetros	84	Media
TORNO POLYGIM DIAMOND 20CSB	Sistema de lubricación	Lubricación insuficiente	120	Media
	Motor principal (husillo)	Desequilibrio dinámico del husillo	120	Media
	Sistema hidráulico	Válvula de alivio atascada	120	Media
	Mordaza de sujeción	Pérdida de fuerza	108	Media
	Sistema eléctrico y electrónico	Cortocircuito por cableado dañado	108	Media
	Sistema neumático	Obstrucción en válvulas	105	Media
	Sistema de refrigeración	Refrigerante contaminado	96	Media
	Sistema intercambio de herramientas	Sensor de posición defectuoso	96	Media
MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K	Controlador CNC	Desajuste en parámetros	84	Media
	Mordazas	Daño o desajuste	140	Media
	Tornillo sin fin	Acumulación de polvo / atasco	126	Media
	Cama o bloque inferior	Desgaste o desalineación	90	Media
COMPRESOR ACOPLE POLEAS DE ALTO RENDIMIENTO MOD GX4 MONTADO	Sistema de purga de condensado	Purga obstruida o inoperativa	140	Media
	Sistema de filtrado	Filtro obstruido	112	Media
	Sistema de transmisión	Rotura o deslizamiento de correas	112	Media
	Unidad compresora (rotor de tornillo)	Desgaste o daño en rotores	108	Media
	Sistema eléctrico y motor	Fallo eléctrico o sobrecarga	96	Media

Fuente: elaboración propia

Tabla 34. NPR de los equipos críticos del laboratorio de soldadura

Equipo	Subconjunto	Modo de falla	NPR	Nivel de criticidad
EQUIPO DE SOLDADURA LINCOLN C 225	Pinza porta electrodo	Desgaste, pérdida de contacto o sobrecalentamiento	160	Alta
	Cable de potencia	Daño del aislamiento o rotura interna	144	Media
	Sistema de ventilación interna	Obstrucción por polvo o suciedad	120	Media
	Transformador	Sobrecalentamiento / fallo de aislamiento	120	Media
	Perilla de control	Movimiento duro o inoperante	72	Baja
EQUIPO SOLDADOR RECTIFICADOR MARCA LINCOLN 250A	Pinza porta electrodo	Desgaste, pérdida de contacto o sobrecalentamiento	160	Alta
	Cable de potencia	Daño del aislamiento o rotura interna	144	Media
	Transformador	Sobrecalentamiento / fallo de aislamiento	120	Media
	Sistema de ventilación interna	Obstrucción por polvo o suciedad	120	Media
	Rectificador	Diodo abierto o en corto	96	Media
	Perilla de control	Movimiento duro o inoperante	72	Baja
EQUIPO DE SOLDADURA REVESTIDO DE 160 AMP. REF. WEST ARCO	Pinza porta electrodo	Desgaste, pérdida de contacto o sobrecalentamiento	160	Alta
	Cable de potencia	Daño del aislamiento o rotura interna	144	Media
	Sistema de ventilación interna	Obstrucción por polvo o suciedad	120	Media
	Transformador	Sobrecalentamiento / fallo de aislamiento	120	Media
	Perilla de control	Movimiento duro o inoperante	72	Baja
EQUIPO INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE 250 AMPERIOS DE CAPAC	Pinza porta electrodo	Desgaste, pérdida de contacto o sobrecalentamiento	160	Alta
	Cable de potencia	Daño del aislamiento o rotura interna	144	Media
	Transformador	Sobrecalentamiento / fallo de aislamiento	120	Media
	Sistema de ventilación interna	Obstrucción por polvo o suciedad	120	Media
	Tarjeta electrónica de potencia	Cortocircuito, fallo de componentes	108	Media
EQUIPO DE SOLDADURA HYPER THERM WERMAX 30 XP	Cable de potencia	Daño del aislamiento o rotura interna	144	Media
	Sistema de aire comprimido	Fugas o humedad en línea	128	Media
	Sistema de ventilación interna	Obstrucción por polvo o suciedad	120	Media
	Perilla de control	Movimiento duro o inoperante	96	Media
	Cables y conexiones	Aflojamiento o desgaste	96	Media
	Antorcha de plasma	Desgaste de electrodo o boquilla	72	Baja

Tabla 34. (Continuación) NPR de los equipos críticos del laboratorio de soldadura

MUFLA	Resistencia calefactora	Ruptura o pérdida de conductividad	160	Alta
	Sensor de temperatura	Lectura errónea de la temperatura	135	Media
	Ladrillos refractarios	Fisura o fractura de los ladrillos refractarios	108	Media
	Puerta / bisagra	Desajuste de la puerta o desgaste de las bisagras	72	Baja
TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN	Sistema de transmisión	Banda desgastada o polea desalineada	140	Media
	Motor eléctrico	Desgaste o daño en los rodamientos internos	105	Media
	Husillo y portabrocas	Desalineación del husillo o portabrocas	96	Media

Fuente: elaboración propia

3.4. CONCLUSIONES DEL AMEF

La clasificación de los modos de falla por niveles de criticidad permite priorizar de manera objetiva los equipos y sus subconjuntos más relevantes en los laboratorios. Los equipos CNC se consideran de los equipos más complejos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos debido a la gran cantidad de componentes y sistemas que los conforman. Por esta razón, en el análisis se desarrollaron al menos cinco modos de falla por cada subconjunto crítico, aunque, dada su complejidad tecnológica, es posible que existan muchos más que requieren un estudio más profundo, por lo que este análisis queda abierto a futuras exploraciones. En la Tabla 33 y Tabla 34 se muestran únicamente los modo de falla con el valor de NPR más alto de cada subconjunto de los equipos de cada laboratorio, con el fin de resaltar los escenarios de mayor relevancia para la toma de decisiones en mantenimiento. Para consultar el desarrollo completo del AMEF y el detalle de todos los modos de falla analizados, se puede revisar el anexo “AMEF_LABORATORIOS”.

En el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos se evaluaron diferentes subconjuntos de los equipos seleccionados como críticos. Los resultados muestran que la mayoría de los modos de falla se ubican en un nivel de criticidad media o baja, cabe aclarar que el centro de mecanizado Finetech y el torno Polygim comparten los mismos subconjuntos, a excepción del intercambiador de calor del centro de mecanizado Finetech, por lo que los NPR de ambos equipos son equivalentes. En este laboratorio se destacaron el sistema de lubricación (NPR 120) de los CNC, las mordazas (NPR 140) de la máquina universal Shimadzu 500K y el sistema de purga de condensado (NPR 140) del compresor de alto rendimiento Atlas como los más relevantes. Adicionalmente, se identificaron modos de falla de baja criticidad en componentes como el controlador CNC (NPR 84) y el sistema de intercambio de herramientas (NPR 96) en los equipos CNC, cama o bloque inferior (NPR 90) de la maquina universal Shimadzu 500K y sistema eléctrico y motor (NPR 96) del compresor de alto rendimiento Atlas, lo cual indica que aunque no representan un riesgo inmediato, deben ser monitoreados para prevenir incidentes futuros.

En el laboratorio de Soldadura, el análisis muestra que los modos de falla se ubican en un nivel de criticidad alta o media. Es importante aclarar que, dado que los equipos de soldadura comparten en gran medida los mismos subconjuntos, las conclusiones no se especifican por equipo individual, sino que se centra en los componentes comunes a todos ellos. Los subconjuntos con los modos de falla más relevantes son las pinzas porta electrodo (NPR 160), el cable de potencia (NPR 144) y el sistema de ventilación interna (NPR 120), los cuales se clasifican en un nivel de criticidad medio-alto. Estas fallas están asociadas al desgaste, la acumulación de suciedad y el deterioro por uso continuo, representando un riesgo significativo tanto para la operación de los equipos como para la seguridad de los usuarios. Los resultados evidencian que los componentes que están más expuestos al desgaste mecánico, condiciones externas como polvo y a condiciones térmicas extremas requieren de planes de inspección, limpieza y reemplazo periódico para garantizar su funcionamiento confiable.

En conclusión, de acuerdo con lo expuesto anteriormente sobre la variación en la frecuencia de uso de los equipos, se reafirma la importancia de contar con rutinas de mantenimiento diferentes según cada laboratorio, priorizando los equipos de soldadura por su alto nivel de riesgo y manteniendo un control constante en los equipos del laboratorio de multieje. Este ejercicio no solo permitió identificar los subconjuntos más vulnerables, sino que también aporta una base sólida para la toma de decisiones en cuanto a asignación de recursos, planificación de intervenciones y reducción de riesgos operativos y de seguridad. De esta manera, los resultados del AMEF se consolidan como una herramienta fundamental que contribuye a la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos en el ámbito académico.

4. ESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.1. ALCANCE Y CONDICIONES ACTUALES DEL MANTENIMIENTO EN LOS LABORATORIOS

El presente plan de mantenimiento preventivo se desarrolla para los equipos pertenecientes a los laboratorios de multieje ensayos mecánicos y soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Su formulación surge a partir del diagnóstico del estado actual de los equipos y de la información recopilada mediante entrevistas realizadas al personal encargado de los laboratorios, así como de la consulta de manuales de fabricante disponibles.

Durante el proceso de recolección de información en el laboratorio de multieje ensayos mecánicos, se identificó que la universidad contrata una empresa externa especializada para la ejecución del mantenimiento de los equipos CNC, debido a su alto nivel de complejidad técnica y a los elevados costos que podría representar una intervención inadecuada. En contraste, para los demás equipos del laboratorio, las actividades realizadas corresponden principalmente a mantenimientos preventivos básicos, los cuales se ejecutan al finalizar el periodo académico o al cierre del año, dependiendo de la intensidad de uso de cada equipo.

Por otra parte, en el laboratorio de soldadura, se evidenció que los equipos de soldadura, de acuerdo con la información consignada en los manuales del fabricante, no requieren de rutinas de mantenimiento preventivo convencionales. Adicionalmente, el personal del laboratorio indicó que equipos como la mufla no cuentan con un mantenimiento preventivo estructurado, sino que es sometido a procesos de calibración periódica, con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de su operación, los intervalos de intervención también se realizan al finalizar el semestre, o cada año, dependiendo de su uso durante el periodo académico.

Cabe resaltar que, previo al desarrollo de este proyecto, la universidad no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo formalmente estructurado para los equipos de los laboratorios analizados. Las actividades realizadas se limitaban principalmente a rutinas básicas de limpieza y a intervenciones correctivas cuando se presentaban fallas evidentes durante la operación de los equipos. Adicionalmente, se identificó como una limitación importante la inexistencia de registros históricos de fallas, mantenimientos realizados o cambios de componentes. En consecuencia, la información relacionada con el estado de los equipos, sus antecedentes y condiciones de operación fue obtenida principalmente a partir de las entrevistas con los laboratoristas, quienes aportaron su experiencia y conocimiento práctico sobre el comportamiento y uso de los equipos.

En este contexto, el plan de mantenimiento preventivo propuesto busca estructurar y documentar de manera técnica y sistemática la información existente, estableciendo una base que permita mejorar la gestión del mantenimiento, facilitar la toma de decisiones y contribuir a la conservación y disponibilidad operativa de los equipos de los laboratorios.

4.2. ADAPTACIÓN Y MEJORA DE LA HOJA DE VIDA

La Universidad Santo Tomás sede principal cuenta con un formato institucional de hoja de vida para los equipos de laboratorio, suministrado por la Dirección de Laboratorios, el cual se utiliza actualmente como herramienta de registro básico de información técnica y administrativa.

Fig. 23. Hoja de vida institucional

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS —SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—			
Código: GS-BO-F-010	Versión: 01	Emisión: 30-04-24	Página 1 de 1

LABORATORIO O LUGAR	EDIFICIO:
NOMBRE DEL EQUIPO	Código de Inventario

1. INFORMACIÓN GENERAL

Modelo	No. de Serie	Marca	País de Procedencia	Vida útil
Tipo de Admisión: ☐ Compresión ☐ a la carga de compr. ☐ Ostru ☐	Carga		No. Acta	
Distribuidor en Colombia		Teléfono	E-mail	Ciudad

PROVEEDOR DE REPUESTOS E INSUMOS

Compañía	Contacto	Teléfono	E-mail o Dirección

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Manual de Operación ☐ FÓDIGO

Instructivo ☐ FÓDIGO

PERIODICIDAD MANTENIMIENTO

INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO

TECNOLOGÍA PREDOMINANTE	FUENTES DE ALIMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
ELECTRICO ☐ ELECTRÓNICO ☐ MECÁNICO ☐ HIDRÁULICO ☐ NEUMÁTICO ☐ OTRO ☐	AGUA ☐ AIRE ☐ GAS ☐ VAPOR ☐ ELECTRICIDAD ☐ OTRO ☐	FRECUENCIA (Hz) VOLTAJE (v) CORRIENTE (AC) CORRIENTE (DC) POTENCIA (vat) CAPACIDAD PRESIÓN (PSI) TEMPERATURA PESO (kg) VELOCIDAD (RPM)

OTRAS PARTES MÓVILES O ACCESORIO:

SI	☐	NO	☐
----	--------------------------	----	--------------------------

CLASIFICACIÓN POR USO	FIJO ☒	MÓVIL ☐	CONDICIONAR: ¿Las condiciones de operación del equipo requieren la presencia de un técnico especializado?

PARTES MÓVILES O ACCESORIOS	CANTIDAD	MARCA/REF	Nº de INVENTARIO

POSEE SOFTWARE PARA SU FUNCIONAMIENTO? SI ☐ NO ☐ Nombre del Software: _____	Número de Licencia: _____
--	---------------------------

3. HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS

FECHA	OBSERVACIONES SOBRE EL ESTADO DEL EQUIPO/DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO REALIZADO	COSTO TOTAL	No. de Reporte	RESPONSABLE O EJECUTOR

Fuente: tomado de Poveda Ávila, Jeimy Mercedes. Documento interno “GS-BO-F-018 Hoja de Vida de Equipos”, 2024.

Durante el desarrollo del presente proyecto se realizó un análisis del formato institucional de hoja de vida con el fin de verificar su aplicabilidad dentro de un plan de mantenimiento preventivo estructurado. A partir de este análisis, se identificaron algunas oportunidades de mejora relacionadas con la organización de la información.

 SANTO TOMÁS —SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—	HOJA DE VIDA DE EQUIPOS DE LABORATORIO		
Código: GS-BO-F-010	Versión: 1.0	Emisión: 23-09-25	Página 1 de 1

LABORATORIO O LUGAR	EDIFICIO:
NOMBRE DEL EQUIPO	Año de Inveniente

1. INFORMACIÓN GENERAL							
Modelo	No. de Serial	Marca	Año de Procedencia	Vida útil			
Tipo de Adquisición	Compra ☐ Lecho de compra ☐	Carta	No. Acta				
Duración	Otro ☐	Funcionamiento de Garantía					
Distribuidor en Colombia	Teléfono	E-mail		Ciudad			
PROVEEDOR DE REPUESTOS E INSUMOS							
REPUESTOS Y CONTACTO							

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO																															
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Manual de Operación ☐ CÓDIGO _____ Instrucción ☐ CÓDIGO _____ PERIODICIDAD MANTENIMIENTO INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL CLASIFICACIÓN POR USO: FIJO ☒ MÓVIL ☐ <i>Condicionar al ser cual es el uso para el equipo en la práctica fuera del laboratorio.</i>	TECNOLOGÍA PREDOMINANTE ELÉCTRICO ☐ ELECTRÓNICO ☐ MECÁNICO ☐ HIDRÁULICO ☐ NEUMÁTICO ☐ OTRO ☐	FUENTES DE ALIMENTACIÓN AGUA ☐ AIRE ☐ GAS ☐ VAPORES ☐ ELECTRICIDAD ☐ OTRO ☐	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FRECUENCIA (Hz) _____ VOLTAJE (v) _____ CORRIENTE (Amperios) _____ POTENCIA (watts) _____ CAPACIDAD _____ PRESIÓN (PSI) _____ TEMPERATURA _____ PESO (kg) _____ VELOCIDAD (rpm) _____																												
¿POSEE PARTES MÓVILES O ACCESORIOS? SI ☐ NO ☐																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">PARTES MÓVILES O ACCESORIOS</th> <th style="width: 10%;">CANTIDAD</th> <th style="width: 15%;">MARCA / REF.</th> <th style="width: 15%;">NÚMERO DE INVENTARIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				PARTES MÓVILES O ACCESORIOS	CANTIDAD	MARCA / REF.	NÚMERO DE INVENTARIO																								
PARTES MÓVILES O ACCESORIOS	CANTIDAD	MARCA / REF.	NÚMERO DE INVENTARIO																												
¿POSEE SOFTWARE PARA SU FUNCIONAMIENTO? SI ☐ NO ☒ Nombre del Software: _____ Número de Licencia: _____																															

3. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO				
INTERVALO O CONDICIÓN	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO A REALIZAR	OBSERVACIONES / ESTADO ENCONTRADO	REPUESTOS E INSUMOS
	DIARIA SEMANAL MENSUAL ANUAL			

Con base a lo anterior, se diseñó una versión modificada del formato de hoja de vida, manteniendo la hoja de vida original, modificando la sección 1. Información general, agregando un hipervínculo a otra hoja, donde se especifican los repuestos del equipo y su contacto, y la sección 3. Historial de mantenimiento a actividades de mantenimiento, como se puede apreciar en la Fig. 24. Hoja de vida institucional modificada

66

Fig. 25. Hoja de vida institucional final

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS —SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—		HOJA DE VIDA DE EQUIPOS DE LABORATORIO										
Código: GS-BO-F-018		Versión: 1.0		Emisión: 23-10-25								
Página 1 de 1												
LABORATORIO O LUGAR		EDIFICIO:										
NOMBRE DEL EQUIPO		Código de Inventario										
1. INFORMACIÓN GENERAL												
	Modelo	No. de Serial		Marca	País de Procedencia							
	Tipo de Adquisición		Compra ☐ fecha de compra	Costo	No. Acta							
	Donación ☐ otro		Vencimiento de Garantía									
	Distribuidor en Colombia		Teléfono	E-mail	Ciudad							
	N/R		N/R	N/R	N/R							
	PROVEEDOR DE REPUESTOS E INSUMOS											
REPUESTOS Y CONTACTO												
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO												
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA		TECNOLOGÍA PREDOMINANTE		FUENTES DE ALIMENTACIÓN								
Manual de Operación ☐ CÓDIGO		ELECTRICO ☐		AGUA ☐								
Instrucciones ☐ CÓDIGO		ELECTRÓNICO ☐		AIRE ☐								
PERIODICIDAD MANTENIMIENTO		MECÁNICO ☐		GAS ☐								
		HIDRÁULICO ☐		VAPOR ☐								
INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL		PNEUMÁTICO ☐		ELECTRICIDAD ☒								
		OTRO ☐		OTRO ☐								
		POSEE PARTES MÓVILES O ACCESORIOS										
		SI ☐ NO ☒										
CLASIFICACIÓN POR USO		PARTES MÓVILES O ACCESORIOS										
FIJO ☒		CANTIDAD										
MÓVIL ☐		MARCA/REF										
Condicionar al ar cual ar está expuesta al equipaz para fuera del laboratorio		No. DE INVENTARIO										
POSEE SOFTWARE PARA SU FUNCIONAMIENTO		Número de Licencia										
SI ☐ NO ☐ Nombre del Software												
3. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO												
INTERVALO / CONDICIÓN	FRECUENCIA				ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	REPUESTO/ INSUMO	FENCA OPERACIÓN REALIZADA				
	DIA	SEMANA	MESES	AÑO				DIA	SEMANA	MESES	AÑO	TIPO OPERACIÓN REALIZADA

Fuente: elaboración propia con base en Poveda Ávila, Jeimy Mercedes. Documento interno “GS-BO-F-018 Hoja de Vida de Equipos”, 2024.

De esta manera, la hoja de vida final constituye un documento técnico ajustado a las necesidades reales de los laboratorios, alineado con el plan de mantenimiento preventivo y diseñado para servir como base para el seguimiento, control y mejora continua del estado de los equipos.

4.3. LISTADO DE REPUESTOS Y CONSUMIBLES ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El listado de repuestos y consumibles se elaboró con el propósito de apoyar la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo de los equipos de los laboratorios analizados. Dicho listado se construyó a partir de la revisión de los manuales del fabricante de algunos equipos y de la información suministrada por los laboratoristas, identificando aquellos componentes que, por su función, desgaste o frecuencia de intervención, son relevantes para garantizar la operación adecuada de los equipos.

Es importante aclarar que la disponibilidad de manuales del fabricante varía entre los equipos analizados. La universidad cuenta únicamente con los manuales en físico de los equipos CNC del laboratorio de multieje ensayos mecánicos. Adicionalmente, se encontraron manuales en línea correspondientes a la máquina universal Shimadzu 500 k y al compresor Atlas Copco. Para los equipos Máquina de Los Ángeles, Máquina de Impacto Manual y Banco de Entrenamiento, no se dispuso de manuales del fabricante. En estos casos, la identificación de repuestos y consumibles se realizó a partir de otras fuentes de información, tales como documentación técnica general, referencias de equipos similares y la experiencia del personal del laboratorio.

En el laboratorio de soldadura, se contó con el manual de operación del equipo de soldadura Lincoln C 225, el cual fue utilizado como referencia para la identificación de repuestos de los demás equipos de soldadura, dado que comparten subconjuntos y principios de funcionamiento similares. En el caso de la mufia, se estableció que este equipo no requiere rutinas de mantenimiento preventivo convencionales, ya que su control operativo se realiza mediante procesos de calibración periódica para verificar la precisión de la temperatura generada. Por último, para el taladro de árbol marca Craftsman, se encontró un manual similar al número de serie del equipo, por lo cual se usó como referencias para identificar los componentes y consumibles del mismo.

4.3.1. Repuestos e insumos de los equipos del laboratorio de multieje ensayos mecánicos.

Tabla 35. Disponibilidad y tipo de manuales de mantenimiento por equipo del laboratorio de multieje ensayos mecánicos

Equipo	Manual del fabricante	Manual de equipo similar	Mantenimiento definido con
CENTRO DE MECANIZADO FINETECH GTX 170	Si	No	Manual del fabricante
MAQUINA DE LOS ÁNGELES	No	No	Entrevistas con laboratoristas + información de internet
MAQUINA DE IMPACTO MANUAL (ALEMANA)	No	Si	Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
TORNO POLYGIM DIAMOND 20CSB	Si	No	Manual del fabricante
MAQUINA UNIVERSAL SHIMADZU 500K	No	Si	Manual del fabricante + Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
COMPRESOR ACOPLE ATLAS COPCOGX4	No	Si	Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
BANCO DE ENTRENADOR NIVEL UNO Y TRES	No	No	Entrevistas con laboratoristas + información de internet

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. Repuestos e insumos centro de Mecanizado Finetech GTX 170

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Lubricación de guías, tornillos de bolas y rodamientos (lubricador)	Aceite lubricante	ISO VG 68	Mobil Vactra Light/Medium; Shell Tonna 68; Castrol Hyspin 68
Enfriador de aceite del husillo	Aceite hidráulico/lubricación	ISO VG 5 (base mineral)	Mobil DTE Oil Light; Shell Tellus C5; Castrol Hyspin 5
Enfriador de husillo (filtro de aire)	Filtro de aire (lavable)	—	—
Unidad neumática FRL	Aceite neumático	ISO VG 10 (baja viscosidad)	Mobil DTE Oil Light; Shell Tellus C10; Castrol Hyspin 10
Unidad neumática FRL (filtro 5 µm)	Filtro de aire	5 µm con drenaje automático	—
Booster / copa de aceite del husillo	Aceite	ISO VG 32	Mobil DTE Oil Light; Shell Tellus C32; Castrol Hyspin 32
Cilindros hidráulicos (ATC/drawbar)	Aceite hidráulico	ISO VG 32	Shell Tellus C32; Mobil DTE Oil Light; Castrol Hyspin 32
Tanque de refrigerante (coolant)	Fluido de corte soluble	Según proveedor	—

Fuente: elaboración propia con base en el Manual de Mantenimiento del Centro de Mecanizado Finetech GTX 170, documento físico no publicado.

Tabla 37. Repuestos e insumos torno Polygim Diamond 20 CSB

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Chuck (mandril)	Grasa	Three Bond 1901	Three Bond 1901
Lubricación de guías (Slideway)	Aceite lubricante	ISO VG 68 (viscosidad 32–190 cSt)	Mobil Vactra No.2; Shell Tonna T68; Febis K68; Diamond Slideway 68; Uniway 68; Kyoseki Multiway 68C; Daphny Multiway 68C; Showa A-68
Sistema hidráulico (unidad de chuck y actuadores)	Aceite hidráulico	ISO VG 32 (viscosidad 20–88 cSt)	Mobil DTE Oil Light; Teresso 32; Shell Tellus C32; Diamond Lube RO32; FBK RO32; Kyoseki RIX Turbine 32; Daphny Hydraulic 32; Showa J-H32
Tanque de refrigerante (coolant)	Fluido de corte soluble	Según proveedor	—
Lubricación manual (bomba)	Aceite lubricante	ISO VG 32–190 cSt	—

Fuente: elaboración propia en el Manual de Mantenimiento del Torno Polygim Diamond 20 CSB, documento físico no publicado.

Tabla 38. Repuestos e insumos máquina Universal Shimadzu 500K

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Unidad de carga (Loading Unit)	Grasa para tornillo sin fin	Grasa de bisulfuro de molibdeno (Lithium molybdenum disulfide)	Cualquier marca industrial
Unidad de carga	Aceite para superficies	Aceite de máquina o aceite de husillo	Shell, equivalente
Unidad hidráulica	Aceite hidráulico	ISO VG 180	Shell Tellus C180 o similar
Unidad hidráulica	Elemento filtrante	Filtro 10 micrones (reemplazo anual)	Original Shimadzu
Unidad hidráulica	Mangueras de alta presión	Circuito principal y medio (especificadas por modelo)	Original Shimadzu
Sistema de sujeción (Grips)	Insert grips (para placas y varillas)	Según modelo (ej. 343-02518-01 para placas)	Original Shimadzu
Sistema de sujeción	Liner superior/inferior	Según espesor y modelo	Original Shimadzu
Sistema de compresión	Placas de compresión	Diámetro según modelo (ej. 100 mm, 160 mm)	Original Shimadzu
Sistema de flexión	Rodillos y punzones	Según modelo (ej. fulcrum roller, bending punch)	Original Shimadzu

Fuente: elaboración propia con base en Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Tabla 39. Repuestos e insumos compresor Atlas Copco GX4

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Sistema de aceite (circuito rotativo)	Aceite lubricante (rotativa con inyección de aceite)	Ver 'Oil Specifications' manual; ATF/ISO equivalentes	Atlas Copco o equivalente
Filtro de aceite	Filtro spin-on	Conforme a especificaciones Atlas Copco	Atlas Copco
Separator (separador aire-aceite)	Elemento separador spin-on	Conforme a especificaciones del modelo GX5	Atlas Copco
Filtro de aire de admisión	Filtro de aire	Elemento reemplazable	Atlas Copco
Correas de transmisión (belt set)	Juego de correas V-belt	Perfil homologado Atlas Copco	Atlas Copco
Safety valve	Válvula de seguridad	Conforme a especificación del fabricante	Atlas Copco
Air dryer (solo versión FF)	Filtro/refrigerante secador integrado	—	Atlas Copco

Fuente: elaboración propia con base en Atlas Copco.

Tabla 40. Repuestos e insumos banco de entrenador Lab Volt

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Sistema neumático	Aceite para lubricador	ISO VG 10	Mobil DTE Light, Shell Tellus
Filtro neumático	Elemento filtrante	5 µm	Festo, SMC
Sistema hidráulico (si aplica)	Aceite hidráulico	ISO VG 32	Shell Tellus 32, Mobil DTE
Guías lineales	Grasa	Litio + MoS ₂	SKF LGEP2
Tornillería y mordazas	Tornillos, pernos	Métrica estándar	—

Fuente: elaboración propia con base en Edutelsa; SENA; UTP (Studocu); UAEH.

Tabla 41. Repuestos e insumos de máquina de los Ángeles con motor trifásico

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Motor trifásico	Aceite para rodamientos	ISO VG 68	Mobil Vactra, Shell Tonna
Transmisión	Correa	Tipo V	Gates, Optibelt
Tambor	Revestimiento interno	Acero endurecido	—
Sistema eléctrico	Fusibles, contactores	Según placa	Siemens, Schneider

Fuente: elaboración propia con base en Humboldt Manufacturing; Certified MTP; Gilson Company Inc.

Tabla 42. Repuestos e insumos máquina de impacto manual

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Martillo pendular	Cojinetes	Rodamiento 6205 ZZ	SKF, FAG
Indicador analógico	Aceite amortiguador	ISO VG 32	—
Base y mordazas	Tornillos	Métrica estándar	—
Superficies móviles	Grasa	Litio + MoS ₂	SKF LGEP2

Fuente: elaboración propia con base en Bulut Makina.

4.3.2. Repuestos e insumos de los equipos del laboratorio de soldadura.

Tabla 43. Disponibilidad y tipo de manuales de mantenimiento por equipo del laboratorio de soldadura

Equipo	Manual del fabricante	Manual de equipo similar	Mantenimiento definido con
SOLDADURA LINCOLN C 225	Si	No	Manual del fabricante + Entrevistas con laboratoristas
SOLDADOR RECTIFICADOR MARCA LINCOLN 250A	No	Si	Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
SOLDADURA REVESTIDO DE 160 AMP WEST - ARCO	No	Si	Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
INVERSOR ELECTRODO REVESTIDO DE 250 AMP DE WEST - ARCO	No	Si	Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
SOLDADURA HYPERTHERM WERMAX 30 XP	No	Si	Manual del fabricante + Manuales similares + Entrevistas con laboratoristas
Mufla (Horno)	No	No	Entrevistas con laboratoristas + información en internet
TALADRO DE ÁRBOL CRAFTSMAN	Si	NO	Manual del fabricante + Entrevistas con laboratoristas

Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Repuestos e insumos equipo de soldadura Lincoln C225

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Circuito de soldadura	Electrodos revestidos	E6011, E6013, E7018, E7024	Lincoln Electric (Fleetweld, Jetweld, Blue Max)
Porta electrodo	Porta electrodo tipo A/B	Aislado, con mordazas	Lincoln Electric
Pinza de trabajo	Pinza con cable	Conexión segura	Lincoln Electric
Cables de soldadura	Cable de electrodo y trabajo	Calibre #10 o superior	Lincoln Electric
Conectores	QD (Quick Disconnect)	Compatibles con Lincoln	Lincoln Electric

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Tabla 45. Repuestos e insumos equipo soldador rectificador Lincoln 250A

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Circuito de soldadura	Electrodos revestidos	E6011, E6013, E7018	Lincoln Electric
Porta electrodo	Porta electrodo reforzado	Aislado	Lincoln Electric
Pinza de trabajo	Pinza con cable	—	Lincoln Electric
Cables	Cable de potencia	Calibre #8 o superior	Lincoln Electric

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Tabla 46. Repuestos e insumos equipo de soldadura West-Arco 160A

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas / Referencia
Circuito de soldadura	Electrodos revestidos	E6011, E6013	West-Arco
Porta electrodo	Porta electrodo estándar	Aislado	West-Arco
Pinza de trabajo	Pinza	—	West-Arco
Cables	Cable de potencia	Calibre #10	West-Arco

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Tabla 47. Repuestos e insumos equipo inversor West-Arco 250A

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Circuito de soldadura	Electrodos revestidos	E6011, E7018	West-Arco
Porta electrodo	Porta electrodo reforzado	Aislado	West-Arco
Pinza de trabajo	Pinza	—	West-Arco
Cables	Cable de potencia	Calibre #8	West-Arco

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Tabla 48. Repuestos e insumos equipo de soldadura Hypertherm Wermax 30 XP

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Consumibles de plasma	Electrodo de plasma	Compatible con 30 XP	Hypertherm
Consumibles de plasma	Boquilla	Compatible con 30 XP	Hypertherm
Sistema de aire	Filtro de aire	Filtro deshumidificador	Hypertherm
Sistema eléctrico	Cable de antorcha	Especificación original	Hypertherm

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Tabla 49. Repuestos e insumos Mufla

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Calefacción	Resistencias calefactoras	Aleación Kanthal o Nichrome; forma espiral/lateral; temp. máx. según equipo (p.ej. 1100–1200 °C)	Kanthal, Watlow, MSA/Isotemp, Carbolite (según compatibilidad)
Medición de temperatura	Termopar	Tipo K o S según rango; funda cerámica o Inconel; longitud y diámetro compatibles; cable compensado adecuado.	Omega, Watlow, Omega/TC Direct, Omron (sensores)
Aislamiento interno	Ladrillos/placas refractarias	Alúmina o cordierita; densidad y dimensiones OEM; resistencia a choque térmico.	Morgan Thermal Ceramics, Nabertherm (refacciones), Carborundum
Puerta	Junta/sello térmico	Fibra cerámica/fibra de vidrio alta temperatura; sección y perímetro compatibles; adhesivo refractario.	Rutland, Fiberfrax (Unifrax), Thermcraft
Protección eléctrica	Fusibles	Rápidos o retardados según diseño; amperaje/voltaje conforme a placa; portafusible compatible.	Littelfuse, Bussmann (Eaton)
Cableado	Cables alta temperatura	Silicona/fibra de vidrio; 200–450 °C; calibre acorde a carga; terminales anillo alta T°.	Belden, TPC Wire & Cable, HELUKABEL
Potencia	Relé de estado sólido / contactor	SSR AC con disipador; corriente $\geq 125\%$ de carga; control 3–32 VDC/AC según controlador.	Crydom/Sensata, Omron, Carlo Gavazzi
Control	Controlador PID/indicador	Entrada para termopar usado; control on/off o PID; salidas SSR/relé; autotuning.	Eurotherm, Omron, Autonics, Novus
Accesorios de cámara	Bandejas y crisoles	Cerámica de alúmina/corindón; dimensiones que no toquen resistencias; temp. máx. acorde.	CoorsTek, Nalgene (cerámica), Laboy

Tabla 49. (Continuación) Repuestos e insumos Mufla

Aislamiento adicional	Mantas de fibra cerámica	1260–1400 °C; densidad 96–128 kg/m ³ ; espesor según diseño.	Unifrax Fiberfrax, Morgan Cerablanket
Ventilación (si aplica)	Ventilador/motor	Modelo y voltaje OEM; rodete resistente a calor; baleros alta T°.	ebm-papst, Oriental Motor

Fuente: elaboración propia con base en HK Furnace; Saint-Gobain; Kintek Solutions; Therelek; Alibaba; Nabertherm.

Tabla 50. Repuestos e insumos taladro de árbol Craftsman

Sistema / Punto	Consumible	Especificación técnica	Marcas sugeridas
Sistema de perforación	Brocas HSS	Diámetros 1 mm – 13 mm, acero rápido	Craftsman, Bosch, Makita
Mandril	Mandril con llave	Capacidad 1/2" (13 mm), rosca B16 o JT33	Craftsman, Jacobs
Llave de mandril	Llave compatible	Para mandril 1/2"	Craftsman
Transmisión	Correa trapezoidal (V-belt)	Medida A-28 o equivalente	Craftsman, Gates
Columna y husillo	Lubricante	Aceite ISO VG 32	Mobil, Shell
Rodamientos	Grasa	Litio + MoS ₂	SKF, Mobil
Sistema eléctrico	Interruptor ON/OFF	Compatible con modelo	Craftsman
Mesa y mordazas	Mordazas de sujeción	Acero templado	Craftsman

Fuente: elaboración propia con base en PEMCO Panamá.

La información recopilada constituye una base técnica referencial para la identificación de repuestos y consumibles, y podrá ser ajustada o complementada en el futuro conforme se disponga de mayor documentación o registros históricos de mantenimiento.

4.4. PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los procedimientos de mantenimiento preventivo propuestos para los equipos de los laboratorios de multieje ensayos mecánicos y soldadura, se estructuran con base en la información recopilada durante el diagnóstico, las recomendaciones generales de fabricantes y buenas prácticas de mantenimiento industrial. Las actividades se organizan según su periodicidad (diaria, semanal, mensual, semestral y anual), con el fin de facilitar su programación, ejecución y control, facilitando la disponibilidad operativa y la seguridad de los equipos.

4.4.1. Laboratorio de multieje ensayos mecánicos.

Tabla 51. Mantenimiento equipos del laboratorio multieje ensayos mecánicos

EQUIPO	DÍA	SEMANA	MES	SEMESTRAL	AÑO
Centro de Mecanizado Finetech GTX 170	Limpiar área. Retirar virutas. Verificar aceite. Drenar el compresor. Aplicar aceite. Revisar presión del aire. Circuitos de seguridad. Nivel del refrigerante.	Drenar agua F.R.L. Limpiar monitor. Llenar enfriador husillo. Revisar visores policarbonato. Limpiar filtro enfriador.	Limpiar gabinete eléctrico. Limpiar filtros. Verificar líquido Enfriador. Limpiar tanque aceite	Rellenar/cambiar aceite en cilindros hidráulicos. Rellenar aceite en unidad F.R.L., inspección precisión con láser y ball bar.	Cambio aceite hidráulico. Ajuste correa husillo. Revisión backlash. Conexiones eléctricas. Nivelación.
Máquina de Los Ángeles	Limpieza tambor y área de trabajo	Revisión apriete pernos. Inspección tambor y tapa	Lubricación rodamientos motor y eje. Revisión conexiones eléctricas	-	Inspección completa motor. Inspección transmisión y tambor
Máquina de Impacto Manual	Limpieza equipo y dial indicador	Revisión apriete pernos, inspección brazo y sujeción	Lubricación eje de giro y piezas móviles	-	Calibración dial indicador y revisión completa
Torno Polygim Diamond 20 CSB	Revisar nivel aceite guías. Nivel del Refrigerante. Engrase chuck.	Limpiar filtros. Revisar tensión de correas. Inspeccionar conexiones eléctricas	Lubricar husillos y piñones. Limpiar rodillos guía.	Cambio aceite hidráulico (14.5 L). Limpieza tanque y filtros.	Inspección completa de precisión, nivelación y componentes eléctricos
Máquina Universal Shimadzu UH-X (500 kN)	Limpiar área y superficie de la máquina. Verificar ausencia de polvo.	Revisar nivel de aceite hidráulico. Verificar presión del sistema.	Limpiar gabinete eléctrico. Lubricar guías y superficies móviles. Aplicar aceite.	Revisar horizontalidad del equipo. Lubricar tornillo sin fin y engranajes.	Cambio de aceite hidráulico Cambio de filtro hidráulico. Revisión conexiones eléctricas.
Compresor Atlas Copco GX5	Verificar nivel aceite, presión trabajo, fugas y limpieza área	Limpiar filtros aire, revisar tensión correas, comprobar ruidos	Limpiar radiador, revisar válvulas seguridad	Cambio aceite compresor, sustituir filtro separador aceite	Revisión motor eléctrico y sistema de control
Banco de Entrenador Nivel 1 y 3	Limpieza superficie y guías, retirar polvo	Lubricar guías y husillos, revisar apriete tornillos	Inspección completa estructura y componentes eléctricos	Revisión general y ajuste nivelación	-

Fuente: elaboración propia

4.4.2. Laboratorio de soldadura.

Tabla 52. Mantenimiento equipos del laboratorio de soldadura

EQUIPO	DÍA	SEMANA	MES	SEMESTRAL	AÑO
Equipo de Soldadura Lincoln C 225	Limpieza externa. Retirar polvo y salpicaduras.	Verificar cables, pinzas y conexiones.	Revisar ventilación y conexiones eléctricas. Limpieza interna	-	Calibración y prueba de aislamiento.
Equipo Soldador Rectificador Lincoln 250A	Limpieza carcasa y ventiladores.	Verificar apriete de conexiones.	Revisar sistema de refrigeración. Limpieza interna.	-	Calibración y prueba funcional.
Equipo de Soldadura Revestido 160A West-Arco	Limpieza polvo y residuos.	Verificar porta electrodo y cables.	Revisar ventilación y conexiones.	-	Inspección completa.
Equipo Inversor Electrodo Revestido 250A West-Arco	Limpieza de la carcasa.	Verificar ventiladores y cables.	Revisar sistema de protección térmica.	-	Calibración y prueba funcional.
Equipo de Soldadura Hypertherm Wermox 30 XP	Limpieza polvo y salpicaduras.	Verificar mangueras y conexiones.	Revisar sistema de refrigeración.	-	Inspección general y calibración.
Horno (Mufla)	Limpieza cámara interna.	Verificar termopar y control.	Revisar aislamiento térmico.	-	Calibración de temperatura.
Taladro de Árbol Craftsman	Limpieza mesa y columna.	Verificar apriete de correas.	Revisar motor y conexiones eléctricas.	Ajuste de alineación y lubricación completa.	Cambio de rodamientos e inspección general.

Fuente: elaboración propia

Para los equipos que no cuentan con manuales o guías de mantenimiento originales del fabricante, debido principalmente a su antigüedad o a la ausencia de documentación técnica histórica, se optó por el uso de manuales o guías de mantenimiento de equipos similares, estos documentos estarán en la bibliografía. Finalmente, para aquellos equipos en los que no se encontró información técnica disponible, las actividades de mantenimiento preventivo fueron definidas con base en las entrevistas realizadas al personal del laboratorio e información técnica de sitios confiables.

Para el caso de los equipos:

Máquina de los ángeles con motor trifásico

Esta máquina no tiene manual de mantenimiento, ya que fue comprada bajo pedido, cumpliendo algunas normas o especificaciones técnicas. A este equipo se le realiza limpieza, cada semestre, y se revisa el motor trifásico, y se le hace el debido mantenimiento anual.

Banco de entrenador

Para este equipo solo se le realiza limpieza cada dos años.

La información relacionada con los repuestos y las actividades de mantenimiento de estos equipos fue consolidada a partir de diversas plataformas y páginas especializadas en mantenimiento industrial disponibles en línea, las cuales fueron utilizadas como fuentes técnicas de apoyo ante la ausencia de documentación específica del fabricante.

4.5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Con el fin de apoyar la toma de decisiones y fortalecer la gestión del mantenimiento en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica, se realizó una estimación de los costos asociados al mantenimiento preventivo de los equipos analizados. Para una mejor comprensión y control de estos costos, se realizó su clasificación en costos directos, indirectos y recurrentes, considerando tanto las actividades de mantenimiento ejecutadas por terceros como aquellas relacionadas con consumibles, recurso humano e intervenciones periódicas. Esta estimación permite identificar los componentes con mayor impacto económico y sirve como base para la planificación y optimización de los recursos destinados al mantenimiento de los equipos.

Costos directos de mantenimiento

En este grupo se incluyen principalmente los costos derivados del mantenimiento preventivo de los equipos CNC, los cuales son atendidos por una empresa externa especializada debido a su complejidad técnica. El costo de estas intervenciones se estima entre 8 y 10 millones de pesos colombianos, el costo depende del estado del equipo y de los requerimientos específicos identificados durante la intervención. Dicho mantenimiento se realiza con una periodicidad anual o bianual, de acuerdo con el nivel de uso del equipo.

Asimismo, en el laboratorio de soldadura, se consideran como costos directos el reemplazo de componentes eléctricos, específicamente los cables que conducen la corriente hacia los ganchos de soldadura, los cuales presentan un desgaste periódico. Se estima que estos cables se reemplazan aproximadamente una vez al año, con un costo que oscila entre 400 mil y 700 mil pesos por kit.

Costos recurrentes

Los costos recurrentes corresponden a aquellos que se presentan de manera periódica durante la operación normal de los laboratorios y que son necesarios para garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos.

Dentro de esta categoría se incluyen los consumibles utilizados durante los talleres académicos, los cuales varían según el tipo de práctica y el periodo académico. De manera general, se estima un gasto aproximado de 3 millones de pesos por taller y por semestre, teniendo en cuenta que no siempre se consumen los mismos insumos en cada periodo. Estos costos están directamente relacionados con la intensidad de uso de los equipos y la programación académica.

Costos indirectos

Los costos indirectos corresponden a aquellos que, si bien no están asociados directamente a una actividad específica de mantenimiento, son necesarios para la operación y gestión de los laboratorios.

En este grupo se considera el costo asociado al recurso humano, específicamente al personal laboratorista encargado de la supervisión, operación básica de los equipos y apoyo en las rutinas de limpieza y control. El costo mensual estimado de este recurso se encuentra en un rango entre 2,5 y 3 millones de pesos, valor que debe ser tenido en cuenta dentro de la gestión global del mantenimiento, aunque no esté vinculado a una intervención técnica puntual.

5. DEFINICIÓN Y ELABORACIÓN DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

5.1. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Las rutinas propuestas se ajustaron a las condiciones particulares de cada laboratorio y a la disponibilidad de información técnica, considerando que no todos los equipos cuentan con manuales del fabricante o documentación técnica equivalente. En estos casos, las actividades y frecuencias se definieron a partir de manuales existentes, referencias de equipos similares y criterios técnicos derivados del análisis de fallas.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta la información obtenida mediante entrevistas con los laboratoristas, lo que permitió conocer la dinámica actual de inspecciones, intervenciones y las condiciones reales de uso de los equipos. En conjunto, estos criterios permitieron definir rutinas de mantenimiento preventivo coherentes, viables y alineadas con la operación académica de los laboratorios.

5.2. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas en este plan se estructuran mediante un formato que permite organizar y sistematizar la información relacionada con las actividades a realizar en cada equipo.

Cada rutina de mantenimiento preventivo se encuentra conformada por un conjunto de componentes que permiten organizar, ejecutar y registrar de manera adecuada las actividades de mantenimiento en los equipos de los laboratorios. En primer lugar, la rutina incluye la identificación del equipo, la cual permite asociar las actividades de mantenimiento a un activo específico, facilitando su control y seguimiento dentro del plan de mantenimiento preventivo.

Otro componente importante corresponde a la definición del intervalo y la frecuencia de aplicación de las actividades, las cuales pueden establecerse de manera diaria, semanal, mensual, semestral o anual, según las condiciones de uso, el nivel de criticidad del equipo y la información técnica disponible. Esta clasificación permite programar las intervenciones de forma ordenada y acorde con la operación académica de los laboratorios.

La rutina contempla también la descripción del mantenimiento a realizar, en la cual se detallan de manera clara las actividades que deben ejecutarse sobre el equipo. Estas actividades pueden corresponder a inspecciones, limpiezas, ajustes, verificaciones o lubricaciones, y se definen con el fin de prevenir fallas y preservar el correcto funcionamiento de los equipos.

Adicionalmente, se incluyen los repuestos e insumos asociados a cada actividad de mantenimiento, lo que permite identificar los materiales necesarios para su ejecución y facilita la planificación del mantenimiento preventivo, así como el control de los recursos requeridos.

Finalmente, la estructura de la rutina incorpora un apartado destinado al registro de la ejecución del mantenimiento, en el cual se consigna la fecha de realización de la actividad y el tipo de operación efectuada. A manera de ejemplo, se va a explicar el Centro de Mecanizado Finetech GTX 170.

Fig. 26. Estructura de las actividades de mantenimiento preventivo en la hoja de vida del equipo

3. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO												
INTERVALO / CONDICIÓN	FRECUENCIA				ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	REPUESTO/ INSUMO	FEHCA OPERACIÓN REALIZADA				
	DÍA	SEMANA	MES	AÑO				DÍA	SEMANA	MES	AÑO	TIPO OPERACIÓN REALIZADA
					Limpieza general	Retiro de virutas y limpieza de mesa, cubiertas y bandejas.	Escoba, cepillo, trapo industrial					
					Nivel del lubricador	Verificar nivel y rellenar con aceite	Aceite ISO VG 68					
					Presión F.R.L.	Debe estar entre 6–6.5 kg/cm².						
					Nivel de coolant	Revisar mirilla y rellenar mezcla premezclada.	Coolant soluble					
					Circuitos de seguridad	Pruebas de E-Stop, límites y enclavamientos.						
					Ruido anormal	Detectar sonidos extraños en spindle y motores.						

Fuente: elaboración propia

La estructura y los componentes definidos para las rutinas de mantenimiento preventivo se aplican de manera uniforme a todos los equipos. Esta estandarización permite mantener un registro y ejecución de las actividades de mantenimiento, facilitando su integración dentro del plan de mantenimiento preventivo. Siguiendo la descripción de la actividad, el operador o el técnico podría realizar el respectivo mantenimiento del equipo. Para visualizar las actividades completas de cada equipo, véase al Anexo B. Lab. Multieje y el Anexo C. Lab. Soldadura

5.3. RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR LABORATORIO

5.3.1. Laboratorios de multieje ensayos mecánicos.

Centro mecanizado Finetech GTX 170

En la siguiente tabla se presenta la rutina de mantenimiento preventivo propuesta para el centro de mecanizado FINETECH.

Tabla 53. Rutina de mantenimiento preventivo CNC Finetech GTX 170

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diaria	Limpieza general	Retiro de virutas y limpieza de mesa, cubiertas y bandejas.	Empresa externa
Diaria	Nivel del lubricador	Verificar nivel y rellenar con aceite VG 68.	Empresa externa
Diaria	Presión F.R.L.	Debe estar entre 6–6.5 kg/cm ² .	Empresa externa
Diaria	Nivel de coolant	Revisar mirilla y rellenar mezcla premezclada.	Empresa externa
Diaria	Circuitos de seguridad	Pruebas de E-Stop, límites y enclavamientos.	Empresa externa
Diaria	Ruido anormal	Detectar sonidos extraños en spindle y motores.	Empresa externa
Semanal	Purga F.R.L.	Drenar agua del filtro.	Empresa externa
Semanal	Filtro Spindle Cooler	Retirar y limpiar (cada 50 h).	Empresa externa
Semanal	Paneles de policarbonato	Inspección de fisuras o pérdida de visibilidad.	Empresa externa
Semanal	Limpieza profunda	Acceso interno retirando guardas con máquina apagada.	Empresa externa
Mensual	Gabinete eléctrico	Limpieza interior con energía cortada.	Empresa externa
Mensual	Filtros de intercambiador	Limpieza de rejillas y mallas.	Empresa externa
Mensual	Refrigerante spindle	Verificar nivel del sistema de enfriamiento.	Empresa externa
Mensual	Tanque recolector	Limpieza del depósito posterior de aceite.	Empresa externa
Semestral	Aceite hidráulicos	Cambio o llenado de cilindros hidráulicos.	Empresa externa
Semestral	Lubricador F.R.L.	Rellenar al 80% o cambio total VG 10.	Empresa externa
Semestral	Nivelación máquina	Verificación del nivel general.	Empresa externa
Anual	Tanque de coolant	Limpieza profunda y retiro de lodos.	Empresa externa
Anual	Refrigerante Spindle Cooler	Comprobar carga de gas refrigerante.	Empresa externa
Anual	Correa del husillo	Medición 6–8 mm o 60–65 Hz.	Empresa externa
Anual	Backlash	Verificación con reloj comparador 0.002 mm.	Empresa externa
Anual	Wipers guías	Retirar cubiertas y reemplazar si hay desgaste.	Empresa externa
Anual	Conexiones eléctricas	Revisión de apriete y aislamiento.	Empresa externa
Anual	Ciclo ATC	Prueba completa del cambiador de herramientas.	Empresa externa

Fuente: elaboración propia con base en Manual de Mantenimiento del Centro de Mecanizado Finetech GTX 170, documento físico no publicado.

Las actividades descritas en la Tabla 53, fueron definidas con base en la información técnica suministrada por el manual del fabricante, con el fin de establecer rutinas de mantenimiento preventivo técnicas y aplicables.

Máquina de los Ángeles con motor trifásico

La Máquina de Los Ángeles es un equipo crítico del laboratorio de multieje y ensayos mecánicos. Debido a que no se cuenta con un manual de mantenimiento del fabricante, las rutinas de mantenimiento preventivo se definieron a partir de la información obtenida en entrevistas con los laboratoristas y de fuentes técnicas consultadas en línea.

Tabla 54. Rutina de mantenimiento preventivo máquina de los Ángeles con motor trifásico

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diario	Inspección visual	Revisar tambor, tapa, estructura y posibles fisuras. Confirmar ausencia de objetos sueltos.	Laboratorista
Diario	Verificación eléctrica básica	Comprobar cableado visible, enchufe y que no existan vibraciones o ruidos anormales al arranque.	Laboratorista
Diario	Limpieza	Retirar restos de agregado del tambor y del área; limpiar ventilas externas del motor.	Laboratorista
Semanal	Transmisión y fijaciones	Verificar alineación motor-eje; comprobar apriete de pernos de base y soportes; inspeccionar acoplamiento/poleas.	Laboratorista
Mensual	Lubricación de rodamientos	Aplicar grasa NLGI-2 en rodamientos del tambor según carga de trabajo. Limpiar boquillas antes de engrase.	Laboratorista
Mensual	Transmisión (cadena/correa)	Ajustar tensión; limpiar y lubricar cadena si aplica; revisar desgaste de poleas y protector.	Laboratorista
Mensual	Motor trifásico	Soplar polvo en ventilas; revisar tornillería de bornes y temperatura anómala; medir corrientes si es posible.	Laboratorista
Trimestral	Sistema eléctrico	Inspección de aislamiento y apriete en la caja de conexiones; revisar cableado de controlador y sensores/controlador.	Laboratorista
Trimestral	Freno del gearmotor (si existe)	Verificar que el freno sujete el tambor detenido; no forzar giro manual; ajustar según manual del fabricante.	Laboratorista
Trimestral	Controlador de motor	Leer historial/fallos; verificar parámetros, sin modificar a menos que lo haga personal calificado.	Laboratorista
Anual	Motor – servicio mayor	Revisar rodamientos (reemplazo si hay juego/ruido), medir resistencia de aislamiento (megóhmetro), inspección interna.	Laboratorista
Anual	Tambor y estructura	Inspección dimensional, fisuras, soldaduras y base; cambiar componentes de transmisión con desgaste.	Laboratorista
Anual	Calibración/controlador	Verificar conteo de ciclos y paro automático; recalibrar si es necesario.	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en Humboldt Manufacturing; Certified MTP; Gilson Company Inc.

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas se establecieron con base en la experiencia del personal laboratorista y la información técnica disponible, con el propósito de contribuir a la conservación y operación adecuada del equipo dentro del laboratorio.

Máquina de impacto manual

Para este equipo no se dispone del manual específico del fabricante; sin embargo, la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo se realizó con base en manuales de equipos similares y en la información obtenida a partir de entrevistas con los laboratoristas.

Tabla 55. Rutina de mantenimiento preventivo máquina de impacto manual

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diario	Limpieza de soportes y péndulo	Retirar restos de probetas, polvo y partículas. Mantener soportes y péndulo siempre limpios; limpiar al final de cada jornada si es necesario.	Laboratorista
Diario	Inspección visual y de seguridad	Verificar desgaste, fisuras o golpes en cuchillas y apoyos; comprobar libre movimiento del puntero. Asegurar zona libre en el barrido del péndulo.	Laboratorista
Semanal	Protección de superficies pulidas	Pasar trapo suave con aceite ligero por partes pulidas para prevenir corrosión.	Laboratorista
Semanal	Revisión de fijaciones	Comprobar y reapretar tornillos del striker (Charpy/Izod), soportes, latch y palancas de liberación.	Laboratorista
Semestral	Lubricación de freno y mecanismo de liberación	Aplicar solo unas gotas de aceite de máquina en: cojinete del freno del péndulo, cojinete del mecanismo de liberación, trinquete y pestillos.	Laboratorista
Semestral	Verificación de pérdida por fricción ($\leq 0.5\%$)	Ajustar puntero a 300 J (Charpy) o 168 J (Izod) con péndulo colgando; elevar y soltar sin probeta; leer energía perdida y confirmar que no supere 0.5%.	Laboratorista
Anual	Verificación dimensional y metrológica	Comprobar: distancia entre apoyos 40 mm ± 0.2 mm; radio de striker (Charpy 2–2.5 mm; Izod 0.5–1 mm); eje-centro 815 mm; ángulos de caída 140°/90°.	Laboratorista
Anual	Nivelación del equipo	Verificar horizontalidad y, de ser necesario, ajustar con tornillos niveladores para garantizar alineación correcta striker-probeta.	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en Bulut Makina.

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas se establecieron considerando la información técnica disponible de equipos similares y la experiencia del personal del laboratorio, con el fin de mejorar las condiciones adecuadas de operación y conservación del equipo.

Torno Polygim Diamond 20 CSB

Para este equipo se dispone del manual de mantenimiento del fabricante, el cual fue utilizado como referencia principal para la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo.

Tabla 56. Rutina de mantenimiento preventivo torno Polygim Diamond 20 CSB

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diario	Verificar nivel de aceite de guías	Revisar visor y rellenar hasta 1.75 L si es necesario	Empresa externa
Diario	Verificar aceite hidráulico	Confirmar nivel y fugas; presión ≤ 30 kgf/cm ²	Empresa externa
Diario	Revisar nivel de coolant	Capacidad 50 L. Reponer si está bajo	Empresa externa
Diario	Limpieza interior	Retirar virutas, limpiar cubiertas y protecciones	Empresa externa
Diario	Inspección visual general	Revisar cables, mangueras, fugas y ruidos anormales	Empresa externa
Cada 48 h	Limpiar riel de puerta frontal	Retirar acumulación de chips	Empresa externa
500 h	Limpiar filtro de succión de lubricación	Remover tanque y limpiar filtro	Empresa externa
500 h	Revisar recorrido del chuck	Confirmar funcionamiento sin trabas	Empresa externa
500 h	Medir drenaje del cilindro	Según manual del fabricante del chuck	Empresa externa
500 h	Limpieza del tanque de coolant	Retirar virutas y residuos	Empresa externa
1000 h	Verificar backlash	Medir holguras en ejes X/Z	Empresa externa
1000 h	Verificar sellos de guías	Revisar estado y desgaste	Empresa externa
1000 h	Inspección de correas	Verificar desgaste y tensión	Empresa externa
1000 h	Nivelación de la máquina	Comprobar con nivel de precisión 0.02 mm/m	Empresa externa
2000 h	Cambio de aceite hidráulico	Capacidad 14.5 L, ISO VG 32	Empresa externa
2000 h	Limpieza del tanque hidráulico	Vaciar, limpiar y volver a sellar	Empresa externa
2000 h	Limpiar strainer hidráulico	Desmontar y lavar	Empresa externa
2000 h	Limpieza completa del sistema de lubricación	Incluir tanque y filtros	Empresa externa
Según condición	Alinear cabezal (headstock)	Solo si hay conicidad o choque	Empresa externa
Según condición	Ajustar tensión de faja	4.1 kgf / 10.9 mm de deflexión	Empresa externa
Según condición	Purgar sistema de lubricación	Solo si entra aire a tuberías	Empresa externa

Fuente: elaboración propia con base en el Manual de Mantenimiento del Torno Polygim Diamond 20 CSB, documento físico no publicado.

Las rutinas de mantenimiento preventivo presentadas se definieron con base en las recomendaciones del manual del fabricante, con el fin de mantener el correcto funcionamiento y la conservación del equipo durante su operación académica.

Maquina universal Shimadzu 500K

Para este equipo no se dispone del manual específico del modelo; sin embargo, la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo se realizó con base en el manual de un equipo Shimadzu de características similares (100 kN), el cual fue utilizado como referencia técnica.

Tabla 57. Rutina de mantenimiento preventivo maquina universal Shimadzu 500K

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
DÍA	Limpieza del área y superficies	Retirar polvo, virutas y suciedad alrededor y sobre la máquina. Mantener piso limpio para evitar ingreso de partículas al sistema.	Laboratorista
DÍA	Verificación visual general	Comprobar que no haya obstrucciones, elementos sueltos o daños visibles; confirmar que el mando esté en RETURN al finalizar.	Laboratorista
SEMANA	Nivel de aceite hidráulico	Revisar visor del tanque y mantener en nivel estándar; investigar bajadas anómalas.	Laboratorista
SEMANA	Inspección por fugas y ruidos	Inspección visual de fugas en mangueras, conexiones; escuchar sonido normal de bomba/motor.	Laboratorista
MES	Lubricación tornillos sin fin (drive screw)	Aplicar grasa de bisulfuro de molibdeno; retirar grasa vieja antes de aplicar.	Laboratorista
MES	Lubricación piñón de mordazas	Aplicar aceite de máquina desde la copa de aceite del cabezal.	Laboratorista
MES	Lubricación rodillos guía y rodamientos	Aplicar aceite de máquina o aceite de husillo a rodillos guía de mesa y rodamientos de guía de tornillo.	Laboratorista
SEMESTRAL	Verificación de horizontalidad	Nivelar mesa y crosshead; ajustar pernos de gato y cuñas según sea necesario.	Laboratorista
SEMESTRAL	Engrase sistema de elevación del crosshead	Aplicar grasa en el engranaje sin fin (worm gear).	Laboratorista
SEMESTRAL	Revisión sujeciones y sensores	Verificar tornillos del servo-válvula y detector de carrera; reapretar si es necesario.	Laboratorista
ANUAL	Cambio de aceite hidráulico	Drenar, limpiar tanque y rellenar con Shell Tellus C180 o equivalente; no mezclar marcas.	Laboratorista
ANUAL	Cambio de filtro hidráulico	Reemplazar elemento de 10 micrones (1 año o 2 según uso).	Laboratorista
ANUAL	Limpieza interna del tanque y colador	Retirar y limpiar colador de succión con aire comprimido/aceite ligero; reinstalar.	Laboratorista
ANUAL	Verificación metrológica de carga	Verificar exactitud de la indicación de carga con patrón; cada 6–12 meses.	Laboratorista
ANUAL	Inspección de mangueras y conexiones	Revisar mangueras de alta presión A y B, válvulas y conexiones; reemplazar si hay desgaste.	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas se establecieron a partir de la información técnica del equipo similar, con el propósito de contribuir al adecuado funcionamiento y conservación del equipo.

Compresor de acople Atlas Copco GX4

Para este equipo no se dispone del manual específico del modelo; no obstante, la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo se realizó con base en el manual correspondiente a la serie ATLAS GX, el cual presenta características técnicas similares.

Tabla 58. Rutina de mantenimiento preventivo compresor Atlas Copco GX4

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diario	Inspección visual general	Verificar fugas de aceite/aire, ruidos o vibraciones anormales, y estado del gabinete.	Laboratorista
Diario	Verificación de parámetros	Revisar presión de descarga y temperatura; confirmar ausencia de alarmas en panel.	Laboratorista
Diario	Limpieza básica	Retirar polvo de rejillas/ventilación y zona alrededor del compresor.	Laboratorista
Semanal	Nivel de aceite	Comprobar nivel y contam. visible; rellenar con aceite aprobado si es necesario.	Laboratorista
Semanal	Purgado del tanque	Accionar purgador y drenar condensado; verificar correcto cierre.	Laboratorista
Mensual	Filtro de aire	Limpiar o sustituir si está saturado; registrar ΔP si aplica.	Laboratorista
Mensual	Correas de transmisión	Comprobar tensión y estado (grietas/desgaste); ajustar o reemplazar.	Laboratorista
Mensual	Refrigeración	Limpiar radiador/intercambiador y verificar flujo de aire del ventilador.	Laboratorista
Mensual	Pruebas de seguridad	Verificar paro de emergencia y presostatos/relés; probar secuencia de arranque/parada.	Laboratorista
Cada 250 h	Cambio de aceite	Drenar a temperatura de servicio y rellenar con aceite recomendado por fabricante.	Laboratorista
Cada 250 h	Filtro de aceite	Sustituir elemento y revisar fugas post-arranque.	Laboratorista
Cada 250–1000 h	Separador aceite/aire	Sustituir si ΔP alta o según programa; verificar respiradero.	Laboratorista
Trimestral	Ajuste de tornillería y soportes	Reapriete a par especificado en gabinete, base y accesorios.	Laboratorista
Trimestral	Tanque y válvula de seguridad	Inspección visual externa, estado de purgador y prueba de válvula	Laboratorista
Semestral	Sensores y protecciones	Prueba y/o calibración de sensores de T/P y relés térmicos.	Laboratorista
Semestral	Válvulas (retención y mínimo)	Inspección y limpieza; reemplazar kits si hay caída de presión o retención deficiente.	Laboratorista
Anual	Cambio de filtros (aire/aceite/separador)	Sustitución completa de elementos filtrantes; registrar horas y lote.	Laboratorista
Anual	Cambio de aceite (si < 2500 h/año)	Renovar completamente y gestionar residuo según normativa.	Laboratorista
Anual	Inspección del tanque (reglamentaria)	Inspección interna/externa según normativa local; registrar certificado.	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en Atlas Copco.

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas se definieron a partir de la información técnica disponible del manual de la serie GX, con el fin de contribuir a la adecuada operación y conservación del equipo

Banco de entrenador Lab Volt

Para este equipo no se dispone de manual de mantenimiento ni de documentación técnica asociada; por lo tanto, la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo se realizó con base en la información recolectada a partir de entrevistas con el personal laboratorista e información en línea.

Tabla 59. Rutina de mantenimiento preventivo banco de entrenador Lab Volt

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diaria	Inspección visual	Revisar tornillería, protecciones y limpieza general	Laboratorista
Diaria	Prueba de botones	Verificar funcionamiento de paro y arranque	Laboratorista
Semanal	Revisión de transmisión	Verificar tensión y alineación	Laboratorista
Semanal	Limpieza	Limpieza de guías y engranajes	Laboratorista
Mensual	Ajustes mecánicos	Alinear ejes, revisar holguras	Laboratorista
Mensual	Inspección eléctrica	Revisar cableado y conexiones	Laboratorista
Trimestral	Inspección profunda	Desmontar y revisar desgaste	Laboratorista
Anual	Reemplazo de partes	Cambiar bandas, rodamientos y lubricantes	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en Edutelsa; SENA; UTP (Studocu); UAEH

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas se establecieron considerando la experiencia del personal laboratorista, con el fin de apoyar su adecuada operación y conservación dentro del laboratorio.

5.3.2. Laboratorio de soldadura.

Equipos de soldadura

Debido a que los equipos del laboratorio de soldadura presentan principios de funcionamiento similares y actividades de mantenimiento comunes, se estableció una tabla de rutinas de mantenimiento preventivo, aplicable a los diferentes equipos del laboratorio. Las actividades propuestas se definieron con base en entrevistas con los laboratoristas, información técnica disponible y criterios generales de mantenimiento.

Tabla 60. Rutina de mantenimiento preventivo equipos de soldadura

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diaria	Inspección visual	Revisar cables, conectores, porta electrodo, rejillas y estado general	Laboratorista
Diaria	Limpieza básica	Remover polvo exterior y limpiar rejillas sin abrir el equipo	Laboratorista
Semanal	Revisión de flujo de aire	Asegurar que entradas y salidas de aire no estén obstruidas	Laboratorista
Semanal	Revisión de conexiones	Apretar tornillos de porta electrodo y pinza, corregir desgaste	Laboratorista
Mensual	Prueba de funcionamiento	Verificar selector de corriente y ruidos del ventilador	Laboratorista
Mensual	Revisión eléctrica externa	Revisar enchufe y cable de alimentación	Laboratorista
Cada 6 meses	Limpieza interna	Limpieza con aire comprimido y verificación de ventilador	Laboratorista
Cada 6 meses	Evaluación de cables	Reemplazar cables dañados o endurecidos	Laboratorista
Anual	Servicio completo	Revisión integral de componentes y ajustes generales	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en The Home Depot.

Las rutinas presentadas permiten estandarizar las actividades de mantenimiento preventivo para los equipos de soldadura, facilitando su aplicación y control dentro del laboratorio.

Taladro de árbol Craftsman

Para este equipo no se dispone del manual específico del modelo; sin embargo, la definición de las rutinas de mantenimiento preventivo se realizó con base en el manual de un equipo de características similares y en la información obtenida a partir de entrevistas con los laboratoristas.

Tabla 61. Rutina de mantenimiento preventivo taladro de árbol Craftsman

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diaria	Verificar piezas flojas	Revisar mesa, columna, volante, cabezal y portabrocas; asegurar correa tensa	Laboratorista
Diaria	Limpieza	Mesa libre de restos de material	Laboratorista
Diaria	Revisar cable e interruptor	Si hay desgaste, no usar y reemplazar	Laboratorista
Diaria	Retirar polvo y virutas	Aire comprimido en motor y cabezal	Laboratorista
Diaria	Limpiar mesa y columna	Paño seco y capa de cera	Laboratorista
Semanal	Verificar alineación y vibración	Observar oscilación del bit y revisar tensión de correa	Laboratorista
Semanal	Revisar tensión de correa	No debe patinar; ajustar perillas de tensión	Laboratorista
Semanal	Comprobar retorno del husillo	Debe subir suave; ajustar resorte si es necesario	Laboratorista

Tabla 60. (Continuación) Rutina de mantenimiento preventivo taladro de árbol Craftsman

Mensual	Limpieza profunda del cabezal	Retirar tapa, limpiar poleas y revisar correas	Laboratorista
Mensual	Revisar tornillería	Cabezal, mesa, columna y base	Laboratorista
Trimestral	Lubricar husillo	1-2 gotas de aceite ligero; no lubricar poleas ni rodamientos	Laboratorista
Semestral	Revisión de correas	Reemplazar si hay grietas o endurecimiento	Laboratorista
Semestral	Ajuste de juego del husillo	Ajustar tuerca y tornillo de tensión	Laboratorista
Semestral	Verificar precisión de perforación	Perpendicularidad respecto a la mesa	Laboratorista
Anual	Revisión eléctrica	Cable, interruptor y lámpara	Laboratorista
Anual	Revisión de poleas y eje	Buscar desgaste	Laboratorista
Anual	Cambiar correa	Si hay fatiga visible	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en PEMCO Panamá.

Mufla

La mufla (horno) del laboratorio de soldadura es un equipo utilizado en procesos térmicos y ensayos académicos, cuya correcta operación depende del control y estabilidad de la temperatura. Para este equipo, las rutinas de mantenimiento preventivo se definieron considerando las actividades básicas realizadas en el laboratorio y la calibración periódica del sistema de control e información de sitios confiables sobre mantenimiento.

Tabla 62. Rutina de mantenimiento preventivo mufla

Frecuencia	Actividad	Detalle	Responsable
Diario	Inspección eléctrica	Revisar cables, enchufe y ausencia de daños visibles.	Laboratorista
Diario	Inspección de cámara interna	Verificar residuos, grietas y estado del refractario.	Laboratorista
Diario	Revisión de la puerta	Confirmar cierre uniforme y estado del sello térmico.	Laboratorista
Diario	Limpieza posterior	Retirar residuos y permitir enfriamiento natural.	Laboratorista
Semanal	Limpieza externa	Limpiar superficies con paño suave, sin solventes.	Laboratorista
Semanal	Revisión de controles	Verificar botones, perillas, fusibles y display.	Laboratorista
Semanal	Revisión visual de resistencias	Comprobar integridad sin retirar las resistencias.	Laboratorista
Mensual	Prueba de uniformidad térmica	Calentar a temperatura fija y verificar estabilidad.	Laboratorista
Mensual	Inspección del refractario	Buscar grietas severas o desprendimientos.	Laboratorista
Mensual	Revisión interna eléctrica	Verificar terminales, fusibles y conexiones.	Laboratorista
Trimestral/ Semestral	Calibración del termopar	Evaluar lecturas y reemplazar si es necesario.	Laboratorista

Tabla 61. (Continuación) Rutina de mantenimiento preventivo mufla

Trimestral/ Semestral	Prueba eléctrica completa	Medir resistencia de bobinas y consumo eléctrico.	Laboratorista
Trimestral/ Semestral	Limpieza técnica interna	Eliminar residuos incrustados y revisar resistencias.	Laboratorista

Fuente: elaboración propia con base en HK Furnace; Saint-Gobain; Kintek Solutions; Therelek; Alibaba; Nabertherm.

Las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas contemplan las actividades básicas para la conservación del equipo, con el fin de asegurar condiciones adecuadas de operación y confiabilidad en los resultados obtenidos.

5.4. PROGRAMACIÓN Y CRONOGRAMA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La programación del mantenimiento preventivo se realizó con base en las rutinas definidas para cada equipo, la información técnica disponible en manuales del fabricante y la experiencia del personal encargado de los laboratorios. El cronograma tiene como objetivo organizar de manera sistemática las actividades de mantenimiento a lo largo del año, facilitando su planificación, seguimiento y control.

El cronograma anual fue estructurado considerando las diferentes frecuencias de mantenimiento establecidas para cada equipo, tales como actividades mensuales, trimestrales, semestrales, anuales y bianuales. Estas actividades fueron distribuidas durante el semestre académico, teniendo en cuenta el nivel de uso de los equipos y la dinámica operativa de cada laboratorio. Las actividades con frecuencia diaria y semanal no se representan de forma individual en el cronograma anual, debido a su carácter continuo y operativo. Para estas actividades, se remite a las hojas de vida y a las rutinas de mantenimiento preventivo de cada equipo, donde se describen de manera detallada.

Fig. 27. Organización cronograma anual

EQUIPO	REFERENCIA	MARCA-FABRICA	FRECUENCIA	UBICACIÓN	2026											
					Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre			
CENTRO DE MECANIZADO	GTX 170	FINETECH		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M		M		M		M	S	M		M	
MAQUINA DE LOS ANGELES	N/R	ICON		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M	T	M		M		M	T	M		M	T
MAQUINA DE IMPACTO MANUAL	PS 30	VEB		LAB. MULTIEJE ENSAYOS												
TORNO POLYGYM DIAMOND	20CSB	POLYGYM DIAMOND		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M	T	M		M		M	T	M	S	M	
MAQUINA UNIVERSAL	500K	SHIMADZU		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M		M		M		M		M	S	M	
COMPRESOR ALTO RENDIMIENTO	GX4	ATLAS COPCO		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M	T	M		M		M	T	M	S	M	
BANCO DE ENTRENADOR	N/R	LAB-VOLT		LAB. MULTIEJE ENSAYOS	M	T	M		M		M	T	M		M	T

Fuente: elaboración propia

Para visualizar el cronograma completo de cada laboratorio, véase el Anexo B. Lab. Multieje y Anexo C. Lab. Soldadura.

La ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo está a cargo principalmente de los laboratoristas, quienes realizan inspecciones periódicas y atienden fallas de fácil solución. En el caso de los equipos de mayor complejidad, como las máquinas CNC, las actividades de mantenimiento preventivo anual o bianual son realizadas por empresas especializadas contratadas por la institución. Cuando se presentan fallas que requieren intervenciones mayores, estas se programan preferiblemente al finalizar el semestre académico, con el fin de no afectar el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

5.5. DESCRIPCIÓN E INTEGRACIÓN DEL ARCHIVO DE PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como complemento al plan de mantenimiento preventivo, se elaboró un archivo en Microsoft Excel que permite organizar, programar y visualizar de manera sistemática las actividades de mantenimiento definidas para los equipos de los laboratorios de multieje, ensayos mecánicos y soldadura.

Como parte de la entrega de este proyecto, se anexan los archivos denominados “Lab. Multieje” y “Lab. Soldadura”, los cuales contienen la información consolidada del plan de mantenimiento preventivo. Cada archivo en Excel se encuentra estructurado en diferentes secciones, diseñadas para facilitar la organización, consulta y seguimiento de la información más relevante, las cuales se describen a continuación:

- Inicio: página principal que contiene hipervínculos para facilitar la navegación hacia las diferentes secciones del archivo.
- Inventario: listado de los equipos, incluyendo su respectivo código y ubicación. Esta sección incorpora hipervínculos individuales para cada equipo y un sistema tipo semáforo que permite visualizar el estado general de los equipos.
- Cronograma: programación de las actividades de mantenimiento preventivo, organizada por equipo y según la frecuencia de ejecución establecida.
- Reportes de fallas: sección destinada al registro y clasificación de las fallas presentadas, incluyendo el tipo de falla, nivel de criticidad, estado actual, acciones correctivas realizadas, responsable y fecha de intervención.
- Repuestos: listado de los insumos críticos y repuestos requeridos para cada equipo, junto con proveedores sugeridos.
- Hojas de vida: documento técnico individual de cada equipo, en el cual se incluye información general, características técnicas y las actividades de mantenimiento programadas.

La documentación técnica incorporada en el archivo Excel corresponde, en algunos casos, a manuales de equipos similares o de la misma línea de fabricación, debido a la ausencia de manuales específicos para ciertos equipos de los laboratorios. Estos documentos se incluyen como material de apoyo técnico y referencia general para la

definición de las actividades de mantenimiento preventivo, sin reemplazar la información propia del fabricante del equipo instalado.

El archivo en Excel actúa como una herramienta de apoyo operativo al presente documento, permitiendo la aplicación práctica del plan de mantenimiento preventivo definido. Mientras el documento escrito establece los criterios, la estructura y las rutinas de mantenimiento, el archivo digital facilita su programación, seguimiento y actualización. Esta herramienta está diseñada para ser utilizada por los laboratoristas y el personal encargado del mantenimiento, permitiendo registrar las actividades realizadas, realizar seguimiento a las fallas y consultar de manera ágil la información técnica de los equipos.

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en los laboratorios de Multieje Ensayos Mecánicos y Soldadura permitió evaluar de manera técnica el estado operativo y las condiciones generales de los equipos, identificar su situación actual y sus necesidades de mantenimiento preventivo. A partir de inspecciones visuales y entrevistas realizadas a los laboratoristas encargados, se logró clasificar los equipos según su nivel de criticidad y frecuencia de uso, empleando los criterios de criticidad y frecuencia de uso.

Como resultado del análisis, se evidenció que los equipos de ambos laboratorios se encuentran en buen estado operativo y actualmente en funcionamiento. En el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos cuenta con un total de siete equipos, de los cuales se identificaron como equipos críticos el Centro de Mecanizado Finetech, el Torno Polygim Diamond, la Máquina Universal Shimadzu y el compresor Atlas Copco, mientras que en el laboratorio de Soldadura cuenta con un total de nueve equipos, se determinó que todos los equipos evaluados son críticos, de acuerdo con los criterios establecidos.

Adicionalmente, a través de las entrevistas se identificó que no se lleva un registro sistemático de las horas de uso de los equipos, por lo cual fue necesario estimar este parámetro para el desarrollo del proyecto. También se evidenció una diferencia significativa en la frecuencia de uso entre ambos laboratorios, debido a las condiciones de acceso. En el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos, el uso de los equipos está restringido principalmente a laboratoristas, docentes y, en casos específicos, estudiantes de último semestre o tesis; mientras que en el laboratorio de Soldadura los estudiantes pueden operar los equipos durante sus prácticas académicas, bajo supervisión y acompañamiento del personal responsable. Esta situación explica el mayor nivel de uso del laboratorio de Soldadura frente al de Multieje Ensayos Mecánicos.

El análisis de la información recopilada permitió caracterizar las fallas principales de la maquinaria, a partir de la construcción de un historial de fallas elaborado con base en la información obtenida mediante entrevistas a los laboratoristas, debido a la inexistencia de un registro histórico formal. La aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) evidenció que los equipos CNC del laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos presentan una alta complejidad técnica, reflejada en niveles de criticidad media y alta, siendo el sistema de lubricación uno de los subconjuntos más susceptibles a fallas. Asimismo, se reconoció que las fallas identificadas mediante el AMEF representan aproximadamente el 10 % de las posibles fallas que pueden presentarse en este tipo de maquinaria, debido al elevado número de subconjuntos que la conforman, lo que justifica la necesidad de contratar mantenimiento preventivo especializado externo. En contraste, en el laboratorio de Soldadura, se identificaron fallas de mayor riesgo asociadas al deterioro de las pinzas porta electrodo, producto de su alta frecuencia de uso.

La recopilación de información permitió estructurar de manera integral la documentación del plan de mantenimiento preventivo, estableciendo formatos estandarizados y funcionales para la gestión de la información de los equipos, alineados con las necesidades reales de los laboratorios. La adaptación del formato de hoja de vida, basada en el utilizado por la dirección de laboratorios y ajustada con aportes de los laboratoristas,

permite contar con una herramienta práctica y aplicable para el seguimiento técnico de los equipos. Asimismo, la ausencia de manuales técnicos evidenció la necesidad de complementar la documentación existente mediante manuales de equipos similares y fuentes técnicas confiables, lo cual permitió definir consumibles, especificaciones técnicas y actividades de mantenimiento preventivo con diferentes periodicidades, aun en ausencia de información específica del fabricante para algunos equipos.

Se definieron y elaboraron rutinas de mantenimiento preventivo para los equipos de los laboratorios de multieje, ensayos mecánicos y soldadura, estableciendo actividades y frecuencias acordes con las condiciones reales de operación, la disponibilidad de información técnica y la experiencia del personal encargado. La estandarización de las rutinas facilita la organización, ejecución y registro de las actividades de mantenimiento, favoreciendo el control y la trazabilidad del estado operativo de los equipos.

Adicionalmente, la programación del mantenimiento preventivo mediante un cronograma anual y su integración en un archivo en Microsoft Excel permiten llevar a la práctica el plan propuesto, facilitando su planificación, seguimiento y actualización. De esta manera, el plan desarrollado contribuye al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento preventivo, promoviendo una operación más organizada y alineada con las necesidades académicas de los laboratorios.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la actualización de cada archivo de manera semestral, lo cual permite mantener la información organizada, evitar la acumulación excesiva de registros y garantizar una consulta más ágil de los reportes de fallas.

Implementar un sistema de señalización a la plataforma digital que permita a estudiantes y docentes conocer en tiempo real el estado de los equipos (activo, en mantenimiento o fuera de servicio). Esto facilitaría la planeación de las prácticas académicas, de investigación y extracurriculares, evitando retrasos innecesarios y optimizando el uso de los recursos.

Se recomienda digitalizar los manuales técnicos de los equipos CNC, con el fin de facilitar su consulta, preservación y disponibilidad para el personal encargado del mantenimiento y la operación.

En la búsqueda de información de los manuales de mantenimiento, se encontró que, la empresa alemana WPM LEIPZIG encargada de fabricar equipos de laboratorios, tales como máquinas de ensayo, tiene en su disposición la modernización de péndulos de impacto, esto sería de gran ayuda, ya que le daría una mejora a la máquina de impacto manual, ubicada en el laboratorio de Multieje Ensayos Mecánicos, ya que permitiría optimizar su precisión, fiabilidad y seguridad operativa. Implementar dicha actualización puede contribuir a extender la vida útil del equipo y a fortalecer los procesos académicos y de investigación que dependen de su correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA GROUP. Muffle Furnace Parts – Product Catalog [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/showroom/muffle-furnace-parts.html>

ATLAS COPCO. Manual del compresor GX2 [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.manualslib.es/manual/200137/Atlas-Copco-Gx2.html?page=25>

BETANCOURT, Diego Fernando. Cómo hacer un análisis del modo y efecto de fallas AMEF [en línea]. s.f. [Consultado: 5 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/>

BULUT MAKINA. AIT 300-EN Operational Manual [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: https://www.bulutmak.net/uploads/2/0/0/3/20037867/ait_300-en_operational_manual.pdf

CARGUACHI, José; GÓMEZ, Óscar; YARAD, Mélanie. Bases del mantenimiento industrial: conceptos y prácticas fundamentales [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/672652988/>

CEGID. Indicadores de mantenimiento [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.cegid.com/ib/es/blog/indicadores-de-mantenimiento-gp/>

CERTIFIED MATERIAL TESTING PRODUCTS. LA Abrasion Machine Manual [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: https://certifiedmtp.com/content/LA_Abrasion_Machine.pdf

DIMO MAINT. Escuela, universidad, grupo escolar: ¿cómo gestionar el mantenimiento de sus equipos e instalaciones? [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.dimomaint.es/facility-management/mantenimiento-centros-escolar/>

EDITORIAL TEAM. Qué es el Lean Maintenance y cómo implantarlo [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/que-es-el-lean-maintenance-y-como-implantarlo/>

ESGINNOVA. ISO 22301: Metodología para el análisis de riesgos (AMEF) [en línea]. 2019. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.isotools.us/2019/08/28/iso-22301-metodologia-para-el-analisis-de-riesgos-amef/>

FRACTTAL. ¿Qué es un software de mantenimiento? [en línea]. s.f. [Consultado: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/que-es-un-software-de-mantenimiento>

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. 2003.

GILSON COMPANY INC. HM-70A/AF Los Angeles Abrasion Machine Operating & Maintenance Manual [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.globalgilson.com/Content/Images/uploaded/pdf/product-manuals/manual-los-angeles-abrasion-machine.pdf>

GÓMEZ DE LA FUENTE, María Idalia. La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería. Noviembre de 2013.

HK FURNACE. Spare Parts – Furnace and Muffle Furnace Components [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.hkfurnace.com/spare-parts>

HUMBOLDT MANUFACTURING. H-3860A Los Angeles Abrasion Machine Manual [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: https://www.humboldtmfg.com/manuals/H-3860A_man_0113.pdf

IBM. ¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad? [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/reliability-centered-maintenance>

INATEC. Manual de motores trifásicos [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/9425628/manual-de-motores-de-trifasicos>

INFRASPEAK TEAM. ¿Qué es el MTBF y cómo calcularlo? (MTBF vs MTTR) [en línea]. s.f. [Consultado: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/que-es-mtbf/>

KINTEK SOLUTIONS. What Is the Refractory Material for the Muffle Furnace? [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://kindle-tech.com/faqs/what-is-the-refractory-material-for-the-muffle-furnace>

LEAN PRODUCTION. Introduction to Lean Manufacturing [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.leanproduction.com/>

MANTIS SOFTWARE. Importancia de la inspección previa a la operación de toda maquinaria crítica [en línea]. 2023. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.safetymantis.com/2023/07/02/importancia-de-la-inspeccion-previa-a-la-operacion-de-toda-maquinaria-critica/>

MYM INSTRUMENTOS TÉCNICOS. Importancia del mantenimiento en los equipos para laboratorio [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://myminstrumentostecnicos.com/importancia-del-mantenimiento-en-los-equipos-para-laboratorio/>

NABERTHERM. Muffle Furnaces – Brick Insulation 1300°C [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://nabertherm.com/en/products/labor/muffle-furnaces/muffle-furnaces-brick-insulation-1300-degc>

OLIVES MASIP, Ramón. Mantenimiento preventivo [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: https://treball.gencat.cat/web/.content/09_-_seguretat_i_salut_laboral/publicacions/imatges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf

PEMCO PANAMÁ. Manual del Operador y Lista de Repuestos [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: [https://www.pemco.com.pa/docs/09-34984%20\(Manual%20del%20Operador%20y%20Lista%20de%20Repuestos\).pdf](https://www.pemco.com.pa/docs/09-34984%20(Manual%20del%20Operador%20y%20Lista%20de%20Repuestos).pdf)

POVEDA ÁVILA, Jeimy Mercedes. Estadísticas de uso de laboratorios. Presentación interna. Dirección de Laboratorios. Documento no publicado, 2024.

PRO C@BRE. Guía para reparación de motores eléctricos [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/496916/Gu_aReparaci_nMotores_-_FinalDigPswd.pdf

PROGRAMA LIDERAZGO EDUCATIVO DE LA UDP. Los cinco por qué o 5P [en línea]. 2020. [Consultado: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://liderazgoeducativo.udp.cl/cms/wp-content/uploads/2020/04/Los-5P.pdf>

ROSALES, Jean. MTTR: ¿Cómo medir el tiempo de reparación? [en línea]. s.f. [Consultado: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.fracttal.com/es/mantenipedia/que-es-el-mttr-formula-y-calculadora-online-del-mttr>

SAINT-GOBAIN. Cryston Max Muffle Bricks [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/products/shapes/refractory-bricks/cryston-max-muffle-bricks>

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA. Manual de mantenimiento [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/

THERELEK ENGINEERING. Furnace Spares & Accessories [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://www.therelek.com/products/furnace-spares-accessories/>

THE HOME DEPOT. Manual técnico del producto [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://images.thdstatic.com/catalog/pdfImages/2e/2ec45bd8-1cc4-4764-aba0-1370071a6e8a.pdf>

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Inventario de máquina Universal Shimadzu 500K [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en: <https://rita.udistrital.edu.co:23604/adminlab/storage/mecanica-inventarios/May2023/vPZe26fBRhFRAnclYfGi.pdf>

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. Ciencias Básicas – Servicios y horarios [en línea]. s.f. [Consultado: 13 de mayo de 2025]. Disponible en:
<https://cienciasbasicas.usta.edu.co/index.php/laboratorios/servicios-y-horarios>

WEG. Motores de inducción trifásicos de alta y baja tensión – rotor de anillos [en línea]. s.f. [Consultado: 20 enero 2026]. Disponible en:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/haf/h33/WEG-motor-de-induccion-trifasico-de-alta-y-baja-tension-rotor-de-anillos-11171348-manual-espanol-dc.pdf>