



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO ENFOCADO EN LA
MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA
PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL
LABORATORIO DE BALISTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE
GUATEMALA**

Rubén Andrés Morales Molina

Asesorado por el Ing. Helder Romelio Ajquiy Carrillo

Guatemala, octubre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO ENFOCADO EN LA
MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA
PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL
LABORATORIO DE BALISTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RUBÉN ANDRÉS MORALES MOLINA

ASESORADO POR EL ING. HELDER ROMELIO AJQUIY CARRILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdoba Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes
EXAMINADOR	Ing. Victor Hugo García Roque
EXAMINADOR	Ing. Selvin Estuardo Joachin Juarez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO ENFOCADO EN LA
MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA
PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL
LABORATORIO DE BALISTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE
GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha mayo de 2019.

Rubén Andrés Morales Molina

Guatemala, 19 de mayo de 2023

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial

Por este medio, me dirijo a usted para informarle, que yo, Ingeniero Mecánico Industrial Helder Romelio Ajquiy Carrillo, con Colegiado número nueve mil quinientos ochenta y nueve (9589), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno Rubén Andrés Morales Molina, identificado con CUI 2401 85684 0116, alumno que he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación planteando soluciones efectivas para el beneficio de la institución donde se desarrollo la misma.

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, con tema: **DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO ENFOCADO EN LA MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL LABORATORIO DE BALÍSTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE GUATEMALA.** Línea de investigación: Productividad, mecanismos. Trabajo que cumple con los objetivos planteado, se ajusta al contenido indicado y autorizado según protocolo, lo que permite proseguir los tramites correspondientes.

Atentamente,



Ingeniero Helder Romelio Ajquiy Carrillo

Colegiado 9,589

Helder Romelio Ajquiy Carrillo
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 9,589



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.054.023

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO ENFOCADO EN LA MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL LABORATORIO DE BALÍSTICA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS FORENCES DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Rubén Andrés Morales Molina**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Oswin Antonio Melgar Hernández
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, 25 agosto de 2023.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.213.EMI.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO ENFOCADO EN LA MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL LABORATORIO DE BALISTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE GUATEMALA**, presentado por: **Rubén Andrés Morales Molina**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por
Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de
Ingeniería, Escuela de
Ingeniería Mecánica
Industrial, USAC
Colegiado 4,272
Periodo: julio a diciembre año
2023

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2023.

LNG.DECANATO.OI.714.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO ENFOCADO EN LA MINIMIZACIÓN DE FALLAS PARA LA CONSERVACIÓN Y LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS MICROSCOPIOS DE COMPARACIÓN FORENSE DEL LABORATORIO DE BALÍSTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FORENSES DE GUATEMALA**, presentado por: **Rubén Andrés Morales Molina**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, octubre de 2023

JFGR/gaoc

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> e inculcar en mi la responsabilidad hacia mi país, el trabajo honesto y la dedicación.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi hogar, formarme y darme las herramientas necesarias a lo largo de mi carrera.
Mis catedráticos	Por compartir no solo su conocimiento sino también su sabiduría, apoyo y entusiasmo.
Mi asesor	Por su apoyo y por compartir sus conocimientos a mi persona, para el desarrollo de este trabajo de graduación.
Mis amigos y compañeros universitarios	Porque juntos nos apoyamos, alentamos y decidimos cumplir la meta de una carrera universitaria, sin importar la carrera o facultad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Instituto Nacional de Ciencias Forenses	1
1.1.1. Historia.....	2
1.2. Ubicación	4
1.2.1. Objetivo de la institución.....	7
1.2.2. Misión.....	8
1.2.3. Visión	8
1.2.4. Política de calidad.....	8
1.2.5. Organigrama	9
1.3. Laboratorio de Criminalística	16
1.3.1. Documentoscopía forense.....	16
1.3.2. Balística forense	17
1.3.3. Toxicología forense	17
1.3.4. Lofoscopía forense	18
1.3.5. Serología forense	18
1.3.6. Identificación de vehículos.....	18
1.3.7. Fisicoquímica forense.....	19
1.3.8. Sustancias controladas.....	19

1.3.9.	Genética forense	19
1.3.10.	Trayectoria de disparo forense.....	19
1.3.11.	Acústica forense	20
1.3.12.	Informática forense	20
1.3.13.	Ubicación	20
1.3.14.	Objetivo de los laboratorios.....	21
	1.3.14.1. Organigrama de los laboratorios.....	21
1.4.	Laboratorio de Balística	23
	1.4.1. Ubicación	23
	1.4.2. Objetivo del laboratorio.....	23
2.	SITUACIÓN ACTUAL	25
2.1.	Laboratorio de Balística	25
	2.1.1. Área de Análisis.....	26
	2.1.2. Área de Microscopios	26
2.2.	Área de Investigación y Análisis.....	27
	2.2.1. Condiciones ambientales	27
	2.2.2. Condiciones de operación	28
2.3.	Definición de microscopio.....	29
	2.3.1. Generalidad de microscopio.....	30
	2.3.2. Historia.....	30
	2.3.3. Principio de operación	39
	2.3.4. Funcionamiento	41
	2.3.5. Aumento del microscopio electrónico.....	44
2.4.	Microscopio de comparación forense.....	45
	2.4.1. Historia.....	45
	2.4.2. Funcionamiento	49
	2.4.3. Rango de operación	51

	2.4.3.1.	Huellas que pueden encontrarse en indicios del objeto de estudio	52
	2.4.4.	Herramientas	54
2.5.		Factores que afectan el equipo	55
	2.5.1.	Falla	55
	2.5.2.	Error	55
	2.5.3.	Defecto.....	55
	2.5.4.	Avería.....	55
2.6.		Paro no programado	56
2.7.		Consecuencias.....	56
3.		PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO- PREDICTIVO	57
3.1.		Generalidades del mantenimiento	57
	3.1.1.	Tipos de mantenimiento	58
	3.1.2.	Preventivo	58
	3.1.3.	Predictivo	59
	3.1.4.	Programación de mantenimiento.....	60
3.2.		Mantenimiento preventivo.....	60
	3.2.1.	Pruebas de funcionamiento.....	60
		3.2.1.1. Prueba de operatividad por personal que realiza el mantenimiento	61
		3.2.1.2. Prueba de operatividad por usuario y perito analista	61
	3.2.2.	Pruebas de operatividad.....	61
		3.2.2.1. Prueba de operatividad por personal que realiza el mantenimiento	62
		3.2.2.2. Prueba de operatividad por usuario o perito analista	63

3.3.	Mantenimiento predictivo.....	63
3.3.1.	Calibración.....	63
3.3.1.1.	Parte óptica	65
3.3.1.2.	Parte mecánica	65
3.3.1.3.	Parte electrónica	65
3.3.2.	Inspección.....	65
3.3.3.	Limpieza.....	66
3.3.4.	Lubricación	67
3.3.4.1.	Cremalleras	68
3.3.4.2.	Engranajes	69
3.3.4.3.	Platinas.....	69
3.3.4.4.	Micrómetros.....	70
3.3.4.5.	Porta objetos	71
3.4.	Programación de mantenimiento.....	71
3.4.1.	Procedimiento general de mantenimiento.....	72
3.4.2.	Actividades mínimas a realizar.....	74
3.4.3.	Descripción del equipo	75
3.4.4.	Número de inventario	78
3.4.5.	Ubicación	78
3.4.6.	Frecuencia	78
3.5.	Especificaciones técnicas para la adquisición del servicio de mantenimiento	79
3.5.1.	Frecuencia de mantenimiento	79
3.6.	Hojas de paros.....	79
3.6.1.	Tipos de paros	80
4.	DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO	91
4.1.	Planeación de mantenimiento	91

4.1.1.	Listas de verificación	91
4.1.2.	Procedimiento general.....	92
4.1.2.1.	Diagrama de flujo	93
4.1.3.	Actividades secundarias a realizar	95
4.1.3.1.	Diagrama de proceso	95
4.2.	Mantenimiento preventivo.....	98
4.2.1.	Mantenimiento de la parte óptica	98
4.2.1.1.	Cabeza binocular.....	98
4.2.1.2.	Oculares	98
4.2.1.3.	Objetivos.....	99
4.2.1.4.	Lentes accesorios.....	100
4.2.1.5.	Otras partes ópticas	100
4.2.1.6.	Lubricación y sellado de la parte óptica según necesidad y cuando aplique	101
4.2.2.	Mantenimiento y lubricación de la parte mecánica	101
4.2.2.1.	Movimiento de platina XY.....	102
4.2.2.2.	Cremallera	102
4.2.2.3.	Micrómetro.....	103
4.2.3.	Mantenimiento de parte electrónica	103
4.2.3.1.	Lámparas.....	104
4.2.3.2.	Movimientos de ajuste electrónico	104
4.2.3.3.	Enfoque	104
4.2.3.4.	Calibración.....	105
4.2.3.5.	Cámara y accesorios limpieza y reajustes	105
4.2.3.6.	Mesa ajustable	105
4.2.4.	Limpieza.....	106

4.2.5.	Ajustes	106
4.2.6.	Iluminación.....	106
4.3.	Mantenimiento predictivo.....	107
4.3.1.	Calibración de parte electrónica	107
4.3.2.	Cambio de repuestos o insumos de mayor rotación	108
4.3.2.1.	Focos de iluminación.....	108
4.3.2.2.	Platinas.....	108
4.3.2.3.	Engranaje tornillo sin fin de mesa ajustable	109
4.3.2.4.	Adhesivo de porta objetos.....	109
4.4.	Programa de mantenimiento y calibración de equipo	109
4.4.1.	Descripción del equipo	110
4.4.2.	Número de inventario	111
4.4.3.	Ubicación	112
4.4.4.	Frecuencia	112
4.5.	Hoja de paros.....	112
4.6.	Elementos auxiliares de microscopios de comparación forense	114
4.6.1.	Cámara microscópica digital	114
4.6.2.	Software de computadora y cámara de microscopios.....	115
4.6.3.	Hardware de computadoras de microscopios	116
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA.....	117
5.1.	Análisis y revisión del plan de mantenimiento actual	117
5.2.	Desarrollo de diagramas de análisis	117
5.2.1.	Diagrama Ishikawa	117
5.2.2.	Diagrama causa y efecto	120

5.3.	Análisis estadístico	121
5.4.	Interpretación de resultados	122
5.5.	Diseño del plan de mantenimiento preventivo-predictivo para los microscopios de comparación forense	124
5.6.	Hojas de paros	128
5.7.	Bitácoras de control	130
CONCLUSIONES		133
RECOMENDACIONES.....		135
REFERENCIAS		137
APÉNDICES		139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Estructura orgánica del INACIF	3
Figura 2.	Cobertura INACIF	5
Figura 3.	Dependencias bajo la jurisdicción de la Dirección General del INACIF	14
Figura 4.	Organigrama de INACIF	15
Figura 5.	Organigrama de los Laboratorios de Criminalística	22
Figura 6.	Principio de funcionamiento de una lente convergente.....	31
Figura 7.	Microscopio de Zacharias Janssen	33
Figura 8.	Microscopio empleado por Robert Hooke	34
Figura 9.	Partes de un microscopio	37
Figura 10.	Representación del funcionamiento del microscopio óptico	40
Figura 11.	Rayos de luz a través de una lente convergente	42
Figura 12.	Indicación de aumento y apertura numérica en un objetivo.....	43
Figura 13.	Partes principales del microscopio de comparación forense	50
Figura 14.	Anima de cañón de arma de fuego.....	54
Figura 15.	Pasos recomendados para calibrar un microscopio	64
Figura 16.	Contaminantes críticos y dañinos en los microscopios.....	66
Figura 17.	Lente positivo convergente.....	76
Figura 18.	Funcionamiento del lente.....	77
Figura 19.	Diagrama del equipo (isométrico y corte).....	77
Figura 20.	Diagrama de flujo de operaciones.....	94
Figura 21.	Priorización de equipo	97
Figura 22.	Limpieza de oculares.....	99

Figura 23.	Lente	100
Figura 24.	Verificación de la platina	102
Figura 25.	Cámara microscópica digital con sensor de 20 megapíxeles	114
Figura 26.	Cámara CMOS integrada para microscopios estereoscópico ...	115
Figura 27.	Cámara digital con software	116
Figura 28.	Diagrama Ishikawa	118
Figura 29.	Gráfica de Pareto de causas que provocan las inconformidades.....	121
Figura 30.	Confiabilidad del equipo	123

TABLAS

Tabla 1.	Distribución territorial de las sedes de INACIF	4
Tabla 2.	Ubicaciones de sedes principales del INACIF	6
Tabla 3.	Sistema mecánico del microscopio	38
Tabla 4.	Tabla de aumento monocular	44
Tabla 5.	Orígenes de la balística forense	48
Tabla 6.	Partes principales del microscopio de comparación forense	51
Tabla 7.	Factores a incluir en la limpieza del microscopio	66
Tabla 8.	Aspectos esenciales del mantenimiento e instalación	73
Tabla 9.	Control de paros programados y no programados.....	80
Tabla 10.	Microscopios en el Laboratorio de Balística.....	81
Tabla 11.	Hoja de control de tiempo de operación.....	92
Tabla 12.	Guía para anotar la descripción del equipo cada día.....	110
Tabla 13.	Hoja de control de inventario	111
Tabla 14.	Hoja de control de paros en los equipos	113
Tabla 15.	Ponderación de causas que provocan las inconformidades.....	119

Tabla 16.	Análisis de Pareto de causas que provocan las inconformidades.....	120
Tabla 17.	Disponibilidad del equipo	122
Tabla 18.	Datos de falla de los equipos.....	122
Tabla 19.	Cálculo de confiabilidad	123
Tabla 20.	Plan de mantenimiento del microscopio.....	124
Tabla 21.	Sistema mecánico	127
Tabla 22.	Sistema óptico	127
Tabla 23.	Control de paros programados y no programados.....	129
Tabla 24.	Orden de trabajo.....	130

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl 6M	Ácido clorhídrico
<i>Bt</i>	Base total
<i>Ct</i>	Costo total
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grados centígrados
(ClO)₂	Hipoclorito de calcio
pH	Indicador de concentración de iones Hidronio
<i>i</i>	Interés
<i>I_o</i>	Inversión inicial
m	Metro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
n	Número
%	Porcentaje
Q	Quetzales
+	Signo más
-	Signo menos
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Acción correctiva	Actividad a realizar por la institución para eliminar la causa de una no conformidad.
Acetona	Líquido incoloro, oloroso, miscible en agua de excelente capacidad, disolvente de gran número de sustancias orgánicas. Tiene un punto de ebullición de 56 OC.
Ambiente	Entorno sobre el cual una organización tiene impacto, incluyendo el aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos y sus interrelaciones.
Apertura numérica	Medida de la habilidad que tiene un objetivo para concentrar la luz y distinguir pequeños detalles de un objeto. Normalmente, el valor de la apertura numérica se encuentra grabado en el costado del cuerpo del objetivo. Mayores valores de apertura numérica permiten que un mayor número de rayos oblicuos de luz pase por los lentes frontales del objetivo, produciendo una resolución más alta de la imagen.
Aspectos ambientales	Elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden crear un impacto en el entorno.

Campo de visión	Diámetro del campo de visión en milímetros, medido en el plano intermedio de la imagen. El diámetro del campo en un microscopio óptico se expresa por el número del campo de visión, o sencillamente como número de campo.
Desechos	Residuo, cosa inservible o resto que queda después de haber escogido o utilizado lo más útil de algo.
Diafragma	Dispositivo que controla el flujo de luz a través del microscopio. Hay diafragmas de dos tipos: el diafragma de apertura que ajusta el ángulo de apertura en el microscopio, y el diafragma de campo que regula el tamaño de la imagen del instrumento. El propósito de los diafragmas en los microscopios ópticos es prevenir que lleguen, a los planos de formación de imágenes, rayos de luz con aberraciones severas y asegurar una adecuada distribución de luz, tanto en la muestra como en el espacio de la imagen.
Éter	Sustancia líquida derivada de los alcoholes por eliminación de una molécula de agua, entre dos moléculas de alcohol. Es un disolvente excelente, poco soluble en agua, muy volátil e inflamable.
Impacto Ambiental	Alteración positiva o negativa que se hace al ambiente. Indicador ambiental Expresión numérica, registro o algún otro parámetro que la organización

establezca, para verificar el cumplimiento progresivo de sus metas ambientales.

INACIF

Instituto Nacional de Ciencias Forenses.

Mejora continua

Proceso cíclico de optimización de los procesos que realiza una organización. Consiste en planificar, hacer, verificar y actuar para mejorar el desempeño.

4y

Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que una instalación pueda seguir funcionando adecuadamente.

RESUMEN

Desde el año 2018 se realiza el mantenimiento preventivo de equipamiento el cual es supervisado, monitoreado y ejecutado por personal especializado de la institución. Así mismo, se encuentra en elaboración el sistema de inspección para los equipos que se adquieren por la institución, y que se ejecutan a través de controles y procesos administrativos con parámetros establecidos que buscan garantizar el perfecto funcionamiento y el periodo de vida establecido por el fabricante.

Partiendo de esta premisa, el enfoque principal de este trabajo se fundamenta en las acciones realizadas y programadas por la institución para extender el funcionamiento de los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística de los Laboratorios de Criminalística del INACIF, así mismo se ha realizado una guía de mantenimiento preventivo para dichos equipos, esto conlleva como objetivo fundamental, minimizar las fallas para su conservación y con ello beneficiar favorablemente su productividad.

En tal sentido, es necesario que la institución cuente con un documento que sistematice las acciones que se realizan permitirá una adecuada utilización del recurso humano y tecnológico, así como la elaboración, implementación y ejecución del plan de mantenimiento, debe ser aprobado por la Dirección y dar a conocer a todos los jefes de departamento, unidades y servicios asistenciales de la institución.

OBJETIVOS

General

Aportar un plan que generalice el proceso de mantenimiento preventivo-predictivo enfocado en la minimización de fallas para la conservación y la mejora de la productividad de los microscopios de comparación del Laboratorio de Balística del Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala.

Específicos

1. Identificar los beneficios de un correcto mantenimiento en el tiempo y procesos adecuados, proponiendo el uso efectivo de un plan de mantenimiento preventivo.
2. Proponer un plan de mantenimiento que permita el óptimo funcionamiento de los microscopios de comparación forense de acuerdo con sus modelos y respectivos rangos oculares de operación.
3. Organizar actividades de mantenimiento preventivo-predictivo para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF.
4. Diseñar hojas de control y bitácoras para el control de mantenimiento preventivo y predictivo.

INTRODUCCIÓN

Los equipos de microscópicos de comparación forense de los laboratorios de Balística cuyo objetivo principal de uso es comparar y encontrar lesiones y marcas de clase e individualizantes de los testigos que se analizan, es por ello que el mantenimiento de estos equipos debe de tener como prioridad el preservar el buen estado de funcionamiento de los mismos, sus mecanismos, instrumentos y dispositivos auxiliares de operación.

El mantenimiento preventivo se define como conjunto de acciones técnicas y administrativas realizadas o a realizar para preservar un instrumento o equipo, cuyo propósito es mantener el equipo en óptimo estado de operación, las actividades de manteamiento tienen también como propósito la prevención de fallas que puedan paralizar los equipos, detectar las mismas y con ello evitar o disminuir paros de operatividad de los microscopios.

El realizar las actividades planeadas de mantenimiento preventivo a los microscopios de comparación forense permite a los usuarios tener disponibilidad de uso de los equipos cuando sea requerido, el realizar el mantenimiento aporta beneficios como eliminar posibles riesgos de paralización parcial o total del funcionamiento que puede generar retrasos en los procesos que se lleven a cabo según la naturaleza de la actividad de la empresa o institución.

Programar el mantenimiento preventivo está basado en la ejecución de actividades de forma periódica, entre ellas las actividades de inspección semanal, diaria o mensual, los cambios de repuestos, accesorios, u otro tipo

de componentes que permita que el equipo funcione eficientemente, también se considera una actividad de mantenimiento.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Instituto Nacional de Ciencias Forenses

En Guatemala existen entidades gubernamentales dentro del sistema de justicia cuyo objetivo es apoyar mediante las funciones para las cuales fueron creadas o bien ejerciendo sus responsabilidades y funciones como entidad institucional y del gobierno, entre estas entidades se encuentra el Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala INACIF, que como bien se mencionó, fue creado con el objetivo de proveer con medios de prueba válidos y fehacientes a los procesos judiciales, apoyando al sistema de justicia del país de una manera imparcial, objetiva y concluyente. Su finalidad, en otras palabras, es la prestación del servicio de investigación científica de forma independiente, emitiendo dictámenes técnicos científicos (INACIF, 2018).

El INACIF es una institución auxiliar de la administración de justicia el cual brinda sus servicios de manera gratuita dentro los cuales se encuentra la medicina forense así como los laboratorios de criminalística, estos últimos tienen como base la ciencia para aportar la prueba objetiva y científica al sistema de justicia del país, estas pruebas son realizados por profesionales y expertos en sus áreas de estudio los cuales se auxilian de tecnología moderna como instrumentos y herramientas para facilitar y dictaminar de manera imparcial y con objetividad, los análisis a los indicios y muestras que son objeto de estudio, así como estudios y evaluaciones realizadas por el INACIF, según lo requieran las entidades competentes como el Ministerio Público y Organismo Judicial para investigación judicial y penal del sistema de justicia (INACIF, 2018).

1.1.1. Historia

El INACIF surge en el año dos mil seis ante la necesidad de unificar los peritajes forenses en el país, ya que anteriormente más de una institución realizaba pericias forenses como es el caso del Ministerio Público y la Policía Nacional Civil, actividades que era necesario unificar, pudiendo contar con medios de prueba fehacientes y válidos para los procesos judiciales, garantizando la imparcialidad y confiabilidad de los peritajes. Es así como se crea el INACIF mediante el Decreto 32-2006 del Congreso de la República de Guatemala del ocho de septiembre de dos mil seis, iniciando sus funciones el diecinueve de julio de dos mil siete (INACIF, 2018).

Es una entidad con autonomía funcional e independiente, realiza investigación independiente, cuya finalidad es la realización de dictámenes técnicos científicos, mismos que son medios de prueba válidos para los procesos judiciales del sistema de justicia del país, estos dictámenes son realizados mediante los servicios que son prestados a entidades competentes que lo requieren, como es el caso del Ministerio Público y el Organismo Judicial, el INACIF no actúa de oficio.

Presenta una estructura integrada por diferentes órganos internos, los cuales fueron asignados con una división de obligaciones y responsabilidades que permitan sustentar las necesidades del trabajo a realizar.

Figura 1.

Estructura orgánica del INACIF



Nota. Descripción de la organización del INACIF. Obtenido de INACIF (2006). *Clínica forense*. (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

Cabe señalar que al crear una institución como lo es el INACIF, se requiere contar con la colaboración de expertos y peritos en ciencias forenses que aplican los avances tecnológicos, metodológicos y científicos en el campo de la medicina forense, ya que estos elementos son necesarios para las investigaciones criminales y de cualquier otra naturaleza. De igual forma, el INACIF es consciente de la renovación técnica y esto se basa a en sus capacidades económicas, así como innovaciones tecnológicas y científicas para mejorar su funcionamiento y actualización para su cuerpo técnico (Ley Orgánica Del Instituto Nacional De Ciencias Forenses De Guatemala INACIF, 2007).

1.2. Ubicación

Las sedes del INACIF están repartidas por todo el país con el fin de atender las necesidades de los servicios forenses en el país, esto de acuerdo al tipo de servicio, ya que se coordinan los peritajes de los Laboratorios de Criminalística. Estas oficinas en su mayoría atendidas desde las sedes centrales están repartidas por todo el país y se ubican estratégicamente para cubrir cuatro regiones, cada una de las cuales atiende a un segmento específico de la población, con su distribución de la siguiente manera:

Tabla 1.

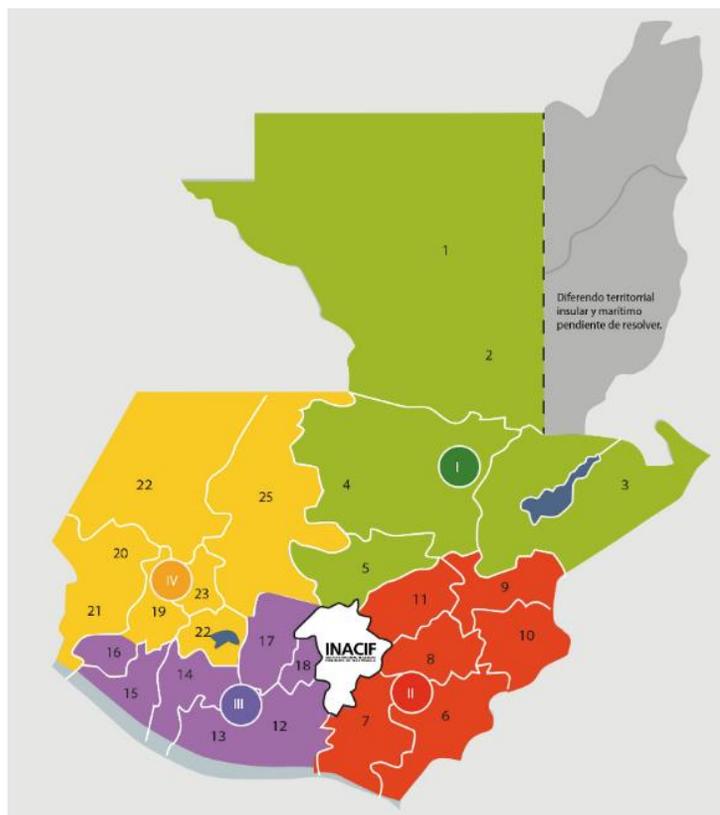
Distribución territorial de las sedes de INACIF

REGIÓN	SEDE
I	San Benito, Petén
	Poptún, Petén
	Puerto Barrios, Izabal
	Cobán, Alta Verapaz
	Salamá, Baja Verapaz
II	Jutiapa
	Cuilapa, Santa Rosa
	Jalapa
	Zacapa
	Chiquimula
	El Progreso
	Escuintla
III	Tiquisate, Escuintla
	Mazatenango, Suchitepéquez
	Retalhuleu
	Coatepeque, Quetzaltenango
	Chimaltenango
IV	Sacatepéquez
	Quetzaltenango
	San Marcos
	Malacatán, San Marcos
	Huehuetenango
	Totonicapán
	Sololá
Quiché	

Nota. Descripción territorial de sedes del INACIF. Obtenido de INACIF (2006). *Clínica forense.* (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

Figura 2.

Cobertura INACIF



Nota. Distribución por regiones de la I a la IV, por medio del mapa se representa en colores los sectores de cobertura de oficinas de INACIF, siendo el verde el sector I, el rojo el sector II, el morado el sector III y el amarillo el sector IV, estos sectores se encuentran especificados en la tabla I. Obtenido de INACIF (2006). *Clínica forense.* (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

Además, se cuenta con direcciones específicas de algunas sedes en municipios principales, donde destacan la Antigua Guatemala, Chimaltenango, Guastatoya, Escuintla, entre otros.

Tabla 2.*Ubicaciones de sedes principales del INACIF*

No.	SEDE	DIRECCIÓN
1	Antigua Guatemala, Sacatepéquez	2a. avenida sur no. 41, Antigua Guatemala, Sacatepéquez
2	Chimaltenango	Lotes 142 y 142 "A", lotificación Santa Mónica, zona 1, Chimaltenango, Chimaltenango
3	Guastatoya, El Progreso	Lote 81 Barrio Minerva, Guastatoya, El Progreso.
4	Escuintla	3ª. calle 3-98, zona 3, Colonia El Recreo, Escuintla, Escuintla
5	Clínica Escuintla, Escuintla	Clínica 6ta, avenida 8-80 zona 1, Escuintla, Escuintla
6	Tiquisate, Escuintla	1ª. calle 1-01, zona 2, apartamento "A", Tiquisate, Escuintla
7	Cuilapa, Santa Rosa	Calle 15 de septiembre, Barrio la Parroquia, Cuilapa, Santa Rosa
8	Sololá, Sololá	10 avenida "A" 6-09, Barrio El Calvario, zona 2, Sololá, Sololá
9	Totonicapán, Totonicapán	3ª. calle 11-35, zona 2, 2º. y 3er. nivel, Totonicapán, Totonicapán
10	Quetzaltenango, Quetzaltenango	11 calle "A" 0-80 zona 6, Quetzaltenango, Quetzaltenango, Quetzaltenango
11	Coatepeque, Quetzaltenango	Calle principal de Lotificación Magnolia zona 6, Coatepeque, Quetzaltenango
12	Mazatenango, Suchitepéquez	1ª. Avenida norte zona 1, Mazatenango, Suchitepéquez.
13	Retalhuleu, Retalhuleu	6ta. calle 12-06 zona 3, Retalhuleu, Retalhuleu, Retalhuleu
14	San Marcos	16 avenida "A" cantón San Francisco, zona 5, San Marcos, San Marcos
15	Malacatán, San Marcos	6ta. avenida final zona 1 campo El Naranjal Cantón San Juan de Dios, Malacatán, San Marcos.
16	Huehuetenango	2da. calle 2-13 zona 8, colonia Hernández, Huehuetenango.
17	Santa Cruz del Quiche, Quiché	5a. avenida 3-19, zona 1, Santa Cruz del Quiché, Quiche
18	Salamá, Baja Verapaz	7 calle 15-02 zona 2, Salamá, Baja Verapaz
19	Cobán, Alta Verapaz	10a avenida "A" 6-20 zona 3, Cobán, Alta Verapaz
20	San Benito, Petén	11 avenida calle 29 de diciembre zona 3, Barrio El Redentor, San Benito, Petén
21	Poptún, Petén	9ª. avenida y 6ª. calle zona 3, Barrio Santa María, Poptún, Petén
22	Puerto Barrios, Izabal	5 calle entre 8a y 9a avenida, Puerto Barrios, Izabal

Continuación de la tabla 2.

No.	SEDE	DIRECCIÓN
23	Zacapa, Zacapa	4ª. calle 5-54, zona 2, barrio San Marcos, Zacapa, Zacapa
24	Chiquimula, Chiquimula	5ta. calle "G" 2-00 zona 3 Colonia Los Ángeles, Chiquimula, Chiquimula
25	Esquipulas, Chiquimula	Interior de edificio municipal, 6av. 2-43 zona 1 Esquipulas, Chiquimula.
26	Jalapa, Jalapa	1ª. avenida 3-28, zona 1, Barrio La Esperanza, Jalapa, Jalapa
27	Jutiapa, Jutiapa	Carretera hacia aldea El Chiltepe, Las Crucitas, Jutiapa, Jutiapa
30	Clínica Gerona	Gerona 15 avenida 15-16, zona 1, barrio Gerona Ministerio Público, Guatemala, Guatemala
31	Clínica Mixco	5ª. calle y 13 avenida "A", Colonia Monte Real, zona 4 de Mixco, Guatemala.
32	Clínica Villa Nueva	9ª. calle 0-75, zona 5, Colonia Paraíso del Frutal, Villa Nueva, Guatemala.
33	Sede Sustancias Controladas zona 6	16 ave. 14-00 zona 6 Colonia Cipresales, interior subdirección general de Estudios Policía Nacional Civil, Guatemala, Guatemala
34	Sede Patología zona 3	4ta avenida 18-26 zona 3, Guatemala, Guatemala

Nota. La tabla proporciona las direcciones exactas de estas sedes distribuidas en las IV regiones del país. Obtenido de INACIF (2006). *Clínica forense.* (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

1.2.1. Objetivo de la institución

Una institución auxiliar de la administración de justicia desempeñando sus labores con apego a los valores, a las normas profesionales, institucionales y gubernamentales, mediante el trabajo éticamente profesional, apegados los valores de la institución; ética, veracidad, transparencia, excelencia, trabajo en equipo, objetividad y respeto a la dignidad humana, implementando procedimientos validados y con un tiempo de respuesta adecuado. Con ello

fortalecer el sistema de justicia, buscando la modernización de la institución y avanzando tecnológica y profesionalmente.

1.2.2. Misión

“Somos la Institución responsable de brindar servicios de investigación científica forense fundamentada en la ciencia y el arte, emitiendo dictámenes periciales útiles al sistema de justicia, mediante estudios médico legales y análisis técnico científicos, apegados a la objetividad y transparencia” (INACIF, 2018, párr. 5).

1.2.3. Visión

“Ser una Institución reconocida y altamente valorada a nivel nacional e internacional, por su liderazgo en las ciencias forenses, los aportes a la investigación científica, la calidad en la gestión institucional y el respeto a la dignidad humana” (INACIF, 2018, párr. 6).

1.2.4. Política de calidad

El instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala es la entidad dedicada a prestar servicios de investigación científica de forma independiente y emitir dictámenes técnicos científicos y, con el fin de lograr el fortalecimiento institucional ha desarrollado e implementado un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con los requisitos de las normas ISO/IEC 17025 e ISO 9001 y, la legislación vigente aplicable. Esto permite gestionar el recurso humano competente, así como recursos

materiales y financieros que garanticen la calidad de los ensayos, proporcionando resultados técnicamente válidos en los servicios forenses, así mismo mejorar los procesos administrativos y financieros y aumentar la satisfacción de los usuarios.

El personal del INACIF está comprometido a mejorar continuamente, a través de la implementación de las políticas y procedimientos establecidos dentro del Sistema de Gestión de la Calidad y de este modo dar cumplimiento a la buena práctica profesional. (INACIF, 2018, párr. 7-8)

1.2.5. Organigrama

La estructura organizacional del Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala es compuesta de manera jerárquica permitiendo organizar mayor facilidad y orden las actividades a realizar, beneficiando el desarrollo de planes de la institución. En la parte superior se encuentra el consejo directivo encargado de velar en buen cumplimiento y las funciones del INACIF cuyas principales atribuciones son las siguientes:

- Aprobar las políticas, estratégicas y líneas de acción del INACIF (INACIF, 2018).
- Aprobar el plan anual de trabajo de la institución, presentado a su consideración por la dirección General del INACIF (INACIF, 2018).

- Nombrar y remover al Director General, siempre y cuando exista justa causa, así como al Auditor Interno de la entidad (INACIF, 2018).
- El INACIF debe promover todo tipo de coordinación con el Organismo Judicial, Instituto de la Defensa Pública Penal, Ministerio Público, Ministerio de Gobernación y diversas oficinas públicas que requieran sus servicios técnicos – científicos.
- El Consejo Directivo deberá aprobar el presupuesto anual de ingresos y egresos del INACIF, además del conjunto de modificaciones necesarias hasta que sea aprobado.
- Entre otras de sus atribuciones, es poder aprobar las propuestas relacionadas con instrumentos necesarios que permitan alcanzar el cumplimiento de sus atribuciones, destacan entre varios, el conjunto de normas técnicas, manuales, protocolos de operaciones, instructivos y reglamentos generales.
- Cuando la dirección general impone alguna sanción, el consejo directivo deberá actuar sobre las resoluciones por impugnaciones en el proceso.
- Deberán calendarizar concursos públicos por oposición, que permita contratar personal con mecanismos legales, empleando diferentes procedimientos establecidos en el reglamento interno.
- Cuando se presenta la celebración de convenios nacionales o internacionales con instituciones privadas o públicas, deberán resolver su aprobación confirmando que se encuentra debidamente inscrita.

El INACIF además del Consejo Directivo, posee en su organigrama la dirección general, esta oficina administrativa está bajo la responsabilidad del Director General, representando así la jefatura para hacer valer su buen funcionamiento. Se presentan las principales atribuciones del Director General.

- Deberá hacer cumplir las obligaciones y objetivos del INACIF, además de verificar que se trabaje con el cumplimiento de reglamentos y leyes internas junto a las resoluciones del consejo directivo.
- Se presenta a diferentes sesiones, sin intención de voto.
- Considerará las disposiciones legales contempladas en la ley orgánica del INACIF para organizar cada una de las dependencias a cargo de la institución, además propone modificaciones pertinentes.
- Según el reglamento interno y leyes guatemaltecas, puede conceder, trasladar, remover y nombrar diferentes licencias al personal activo de INACIF.
- Desarrolla el anteproyecto y el plan anual ante el consejo directivo, además del presupuesto anual de egresos e ingresos de la institución, luego que dicho anteproyecto es aprobado lo transfiere hacia el organismo ejecutivo para que pueda ser incluido en la partida presupuestaria del siguiente periodo.
- Utiliza el reglamento interno para citar y hacer validas sanciones de tipo disciplinarias cuando es necesario o requerido.

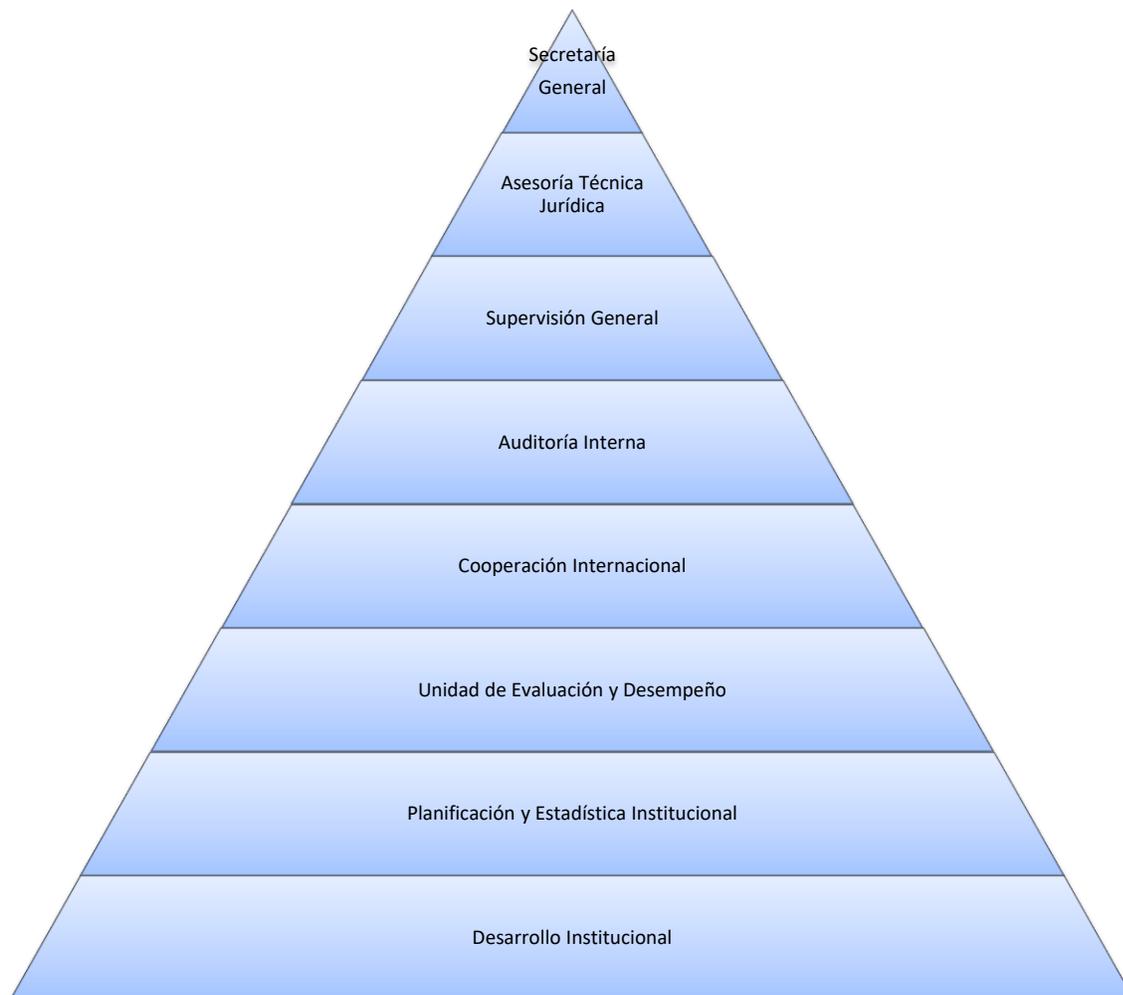
- Parte de sus funciones vitales, es buscar la mejora para la institución, su cargo representado y el conjunto de personas que laboran conjuntamente, por lo cual debe impulsar anualmente la elaboración de instructivos, manuales y reglamentos como instrumentos de trabajo para que puedan ser evaluados y aceptados por el consejo directivo.
- Cuando existen discrepancias ante peritos del INACIF, él deberá actuar para conocer las impugnaciones, de igual forma cuando se presentan impedimentos, recusaciones o excusas ante los propios peritos en expedientes o casos relevantes según lo contemplado por la ley orgánica de la institución.
- Deberá desarrollarse a nivel internacional o con otras dependencias estatales, para poder mejorar su cooperación multipartita, donde se esperaría mejorar acuerdos de cooperación técnica, mecanismos financieros mejorados y ciclos académicos que permitan empoderar al personal de la institución con entidades privadas, públicas o internacionales.
- Sus fortaleces se orientan en lograr distribuir las órdenes generales, así como las instrucciones pertinentes para que todo el personal bajo su mando pueda trabajar con el cumplimiento de las atribuciones otorgadas por el INACIF, estas serán de trascendencia relativas o de materias específicas. Otro rol importante, es lograr supervisar e implementar aplicaciones permanentes sobre ciertos estándares internacionales vigentes con sentido a materia forense, actualizando así esporádicamente protocolos y manuales de la institución.

- A nivel nacional se dispone de varias oficinas permanentes de atención y servicio, para eso, el director deberá proponer eventualmente al consejo directivo la distribución geográfica eficiente con un número de subsedes regionales, otras distribuidas a nivel municipal y por último a nivel departamental, la intención es poder dar servicios eficientes con cobertura, personal capacitado y eficiencias en los resultados esperados ante la institución.
- Por último, pero no de menor importancia, deberá de organizar y aprobar la publicación de memoria de labores de la institución, la misma deberá ser aprobada técnicamente por el consejo directivo.

No solamente dependerá del director ejecutar este sin fin de acciones, responsabilidades y direcciones, a su cargo se pueden sumar otro conjunto de dependencias, las cuales planifican, coordinan y ejecutan según sus atribuciones y según su naturaleza diferentes actividades, así como procesos que trabajando eficazmente permiten alcanzar los objetivos del INACIF, el principal objetivo de la institución es brindar buen servicio al sistema jurídico.

Figura 3.

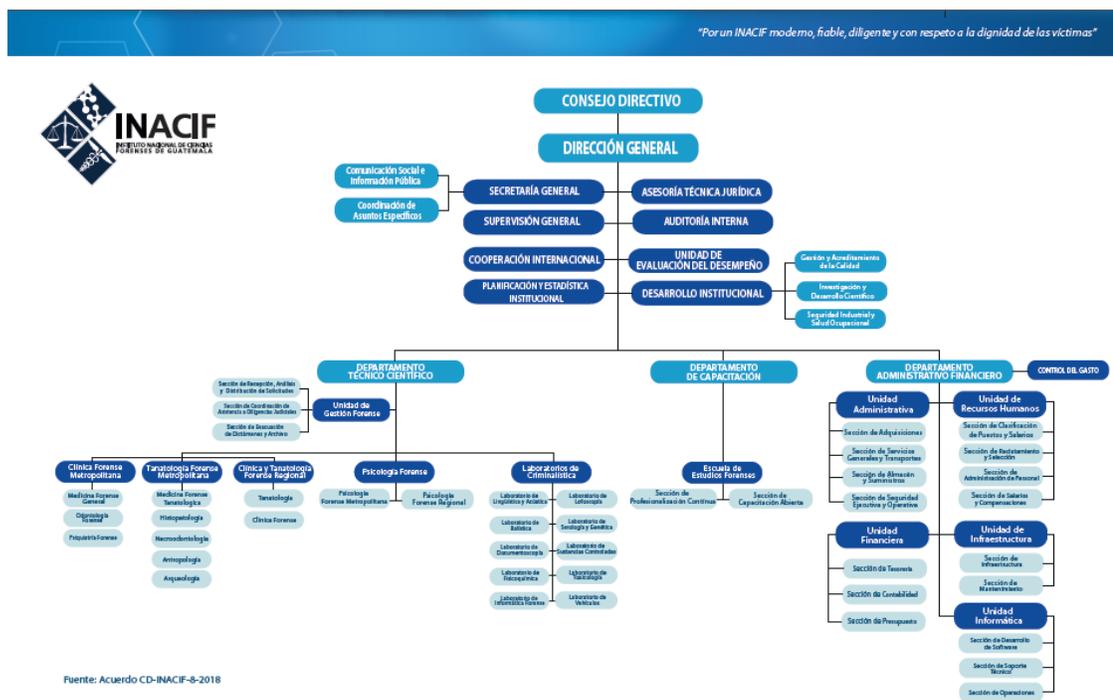
Dependencias bajo la jurisdicción de la Dirección General del INACIF



Nota. Presentación en forma de pirámide de las dependencias bajo la jurisdicción de la Dirección General del INACIF. Obtenido de INACIF (2006). *Clínica forense.* (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

Existen otras dependencias dirigidas y coordinadas por sus dependencias superiores, encargadas de realizar actividades de diferentes naturalezas, las cuales se muestran en el gráfico siguiente para su mejor comprensión, se incluyen los departamentos que son parte complementaria del Organigrama Institucional.

Figura 4.
Organigrama de INACIF



Nota. La imagen muestra la estructura organizacional con ordenamiento vertical, colocando en la parte superior al Consejo Directivo, haciendo la distribución de obligaciones y responsabilidades hasta llegar al personal técnico de última línea de trabajo. Obtenido de INACIF (2006). *Clinica forense.* (<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>), consultado el 19 de julio de 2022. De dominio público.

1.3. Laboratorio de Criminalística

Se reconoce así a la unidad técnica científica y a su vez responsable de dirigir el conjunto de actividades de orden pericial en el INACIF. Estas órdenes pueden ser solicitadas por diferentes oficinas administrativas de competencia legal en el sistema judicial de Guatemala. Dentro del laboratorio se pueden realizar todas aquellas actividades relativas o correspondientes a pericias y análisis solicitadas hacia elementos amorfos o con forma definida que son objeto de estudio y que representan algún valor legal en determinado juicio.

Mediante estas acciones de peritaje, análisis forenses, comparación microscópica y otros medios empleados, se diseñan medios de prueba que serán parte importante, válida y fehaciente que fortalezca la investigación en curso, que a su vez permita esclarecer los hechos delictivos en curso penal. Cada uno de los peritajes requeridos hacia la institución se realiza empleando técnicas científicas, protocolos metodológicos y avances tecnológicos, el personal responsable de estas acciones deberá trabajar con transparencia, sin un sesgo ideológico y ética profesional.

Cada laboratorio especializado en criminalística puede integrarse de diez secciones, estas tienen como función principal realizar los análisis y peritajes técnicos científicos, mediante estos poder obtener los medios de prueba de validez aportados en los procesos judiciales.

1.3.1. Documentoscopía forense

Según el INACIF a través de esta acción científica se realizan diversas destrezas para detectar anomalías en los documentos, también se emplea para revisar firmas y grafías. Se usa comúnmente para identificar cambios en el papel

moneda, licencias, pasaportes, protocolos, escrituras públicas. En el estudio de la grafía se utiliza para determinar la presencia de evidencia científica en documentos alterados o falsificados, generalmente en firmas para documentos legales.

1.3.2. Balística forense

Según el INACIF se utiliza para realizar actividades de peritajes específicas de balística comparativa y balística identificativa. La función principal, es poder comparar las pruebas encontradas en una escena del crimen o recuperadas del cuerpo de una víctima, estos cuerpos extraños fueron indubitados por el arma de fuego sospechosa. Este método se utiliza para determinar con un alto grado de certeza si dichos cuerpos fueron o no disparados por sola arma o por el arma de interés, otorgando así aporte en las investigaciones judiciales.

1.3.3. Toxicología forense

Según el INCAIF, es una serie de acciones realizadas sobre personas vivas o cadáveres, mediante la recolección de fluidos que luego son sometidos a diversos reactivos químicos y análisis microscópicos, para detectar la presencia de posibles sustancias toxicológicas que podrían alterar el orden del cuerpo y la mente en las personas, las cuales pudieron ser causa de muerte o daño en la persona de interés.

Los resultados del examen forense se enfocan en determinar la presencia de drogas y alcohol.

1.3.4. Lofoscopia forense

Según el INACIF es la participación de una investigación, que sirve para identificar, comparar y dictaminar de manera confiable la presencia de una huella dactilar específica en algún objeto contundente. Otro principio y requisito de aplicación es la identificación de cadáveres que no portan identificación, se emplea el levantamiento de las huellas de sus manos para posteriormente ser comparadas en bases de datos, a fin de poder identificar dentro de la base de datos quien es la persona con el certificado de confiabilidad.

1.3.5. Serología forense

Se utiliza para realizar análisis bioquímicos. Según el INACIF la demanda se centra en casos judiciales donde se produjo agresiones sexuales, hay casos específicos donde el agresor ha compartido fluidos con su víctima. La fortaleza de la serología forense es la provisión de análisis confirmatorio, aunque no individualizados. Se analiza el camino de la genética y su transferencia.

1.3.6. Identificación de vehículos

Según el INACIF, los vehículos son uno de los aspectos que nutre el crimen organizado; el Laboratorio de Identificación de Vehículos tiene las facultad para determinar si los automotores tienen alteraciones, establecer con ello la individualización de los vehículos sujetos de análisis y dar aportes contundentes para establecer si los mismos han sido alterados

1.3.7. Físicoquímica forense

Esta sección maneja rastros, (por rastros se entiende a los elementos que genera traducciones que a raíz de la pelea con la presunta víctima), su aporte puede llegar a ser muy alto, dependiendo siempre de los aportes realizados desde el punto de vista de los elementos indiscutibles del ente investigador.

1.3.8. Sustancias controladas

Las drogas ilegales y sus precursores son uno de los elementos clave de control para lograr la paz social. En este contexto según el INACIF esta sección es una contribución muy valiosa al analizar los materiales cuyo modelo de tráfico es compatible con drogas como la cocaína, heroína, éxtasis y muchas otras.

1.3.9. Genética forense

Como sección de muy alto impacto en la investigación, realiza análisis de ADN de fluidos identificados como tales en la sección de Serología y en los que existen elementos de referencia. Al igual que la toma de huellas dactilares la ventaja de los fluidos es que los resultados se pueden personalizar en gran medida.

1.3.10. Trayectoria de disparo forense

Es la Sección encargada de verificar del recorrido de un proyectil en vehículos y espacios reducidos, tomando como elementos claves las heridas de las víctimas, los patrones de salpicadura, las fotografías de la escena y desde luego el elemento científico que da la física y la ingeniería.

1.3.11. Acústica forense

En el Laboratorio de Acústica del INACIF se realizan estudios de análisis fonético para determinar si las muestras analizadas son aptas para estudios comparativos (*matching* fonético), emparejamiento o exclusión entre características del habla, se concluyen los métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas. Validado en el ámbito forense internacional, por lo tanto, una herramienta trascendente en las investigaciones criminales.

1.3.12. Informática forense

Disciplina auxiliar de la justicia moderna, aceptadas a través de las técnicas de adquisición, almacenamiento, extracción y presentación de datos procesados y almacenados en medios electrónicos como discos duros, memorias USB, tarjetas de memoria y teléfonos inteligentes, estos son aceptados en el proceso legal. Es responsable de encontrar, recuperar y extraer evidencia digital como archivos ocultos, archivos eliminados o borrados, fragmentos de texto, correos electrónicos, mensajes instantáneos, conexiones Wifi, historial de navegación, entre otros.

1.3.13. Ubicación

Los Laboratorios de Criminalística están ubicados en las dos sedes centrales del INACIF en el centro cívico de la ciudad capital de Guatemala, una de estas se encuentra en la trece calle, entre cuarta y tercera avenida de la zona 1 y la otra en la catorce calle entre quinta y sexta avenida de la zona 1.

1.3.14. Objetivo de los laboratorios

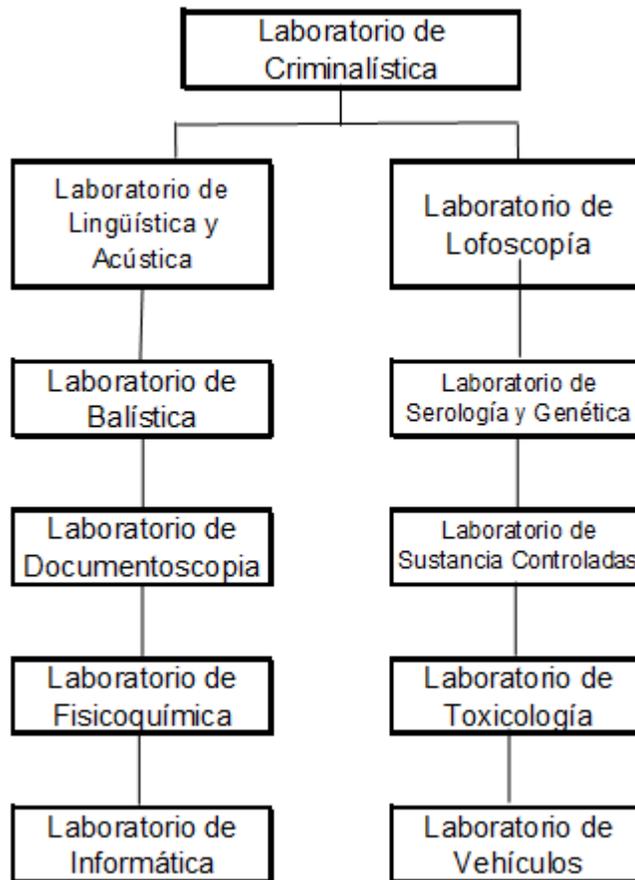
Brindar un aporte técnico-científico validado y fehaciente que sirva de base legal para los procesos judiciales en el sistema de justicia, a través de peritajes realizados en sus laboratorios mismos que son objetivos, imparciales y concluyentes, de manera clara y precisa. Estos peritajes son realizados por peritos expertos en el área y campo de trabajo, capacitado e idóneo para dicha labor.

1.3.14.1. Organigrama de los laboratorios

Se organiza de manera jerárquica, cuenta con su jefatura que administra y coordina los laboratorios que a su cargo tiene, cada laboratorio tiene un jefe que se encarga de administrar y organizar las actividades a cargo de su laboratorio.

Figura 5.

Organigrama de los Laboratorios de Criminalística



Nota. La figura muestra el organigrama a nivel de los laboratorios de criminalística, haciendo únicamente dos divisiones y bajo estas dos divisiones se presentan cinco subclasificaciones, cada una de estas tiene una especialidad y objetivo de trabajo único. Obtenido de INACIF (2023). *Abordan aspectos de la violencia sexual.* (<https://www.inacif.gob.gt>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

1.4. Laboratorio de Balística

Sección de los laboratorios de criminalística encargada para realizar peritajes de carácter balístico, tiene por objeto la identificación de las armas de fuego que son objeto de estudio en los procesos judiciales y su funcionamiento, así mismo aplica a la balística comparativa e identificativa a indicios ubicados en las escenas como a aquellos que son recuperados del cuerpo de la víctima.

1.4.1. Ubicación

Se encuentra en el edificio de la sede central en el centro histórico de la ciudad de Guatemala, ubicado en la catorce calle entre quinta y sexta avenida de la zona uno.

1.4.2. Objetivo del laboratorio

Realizar peritajes balísticos a indicios objeto de estudio para que sean medios de prueba válidos y fehacientes para los procesos judiciales del sistema de justicia, por medio de expertos en balística, laborando de manera ética, transparente, imparcial y con respeto a la dignidad humana.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Los análisis microscópicos comparativos se auxilian de equipos adecuados como es el caso de los análisis microscópicos comparativos para cotejar los indicios que son objeto de estudio. El mantenimiento de estos equipos se realiza por una entidad externa que brinda dicho servicio, cumpliendo los requerimientos del departamento que tiene a su cargo el mantenimiento de los microscopios de comparación forense y cuya actividad se encuentra programada anualmente.

2.1. Laboratorio de Balística

Con personal experto e idóneo para la realización de peritajes balísticos, el Laboratorio de Balística se encuentra en capacidad de realizar los análisis técnicos científicos que las entidades competentes soliciten contribuyendo al sistema de justicia.

La balística comparativa y la balística identificativa son ramas de la balística forense en la que los peritos de balística del INACIF están altamente capacitados así mismo de identificación de armas de fuego y su funcionamiento, elementos clave para dictaminar sobre los análisis que solicitados al Laboratorio de Balística.

Es necesario que además del personal experto en balística e idóneo para realizar los análisis, se cuente también con espacios y equipos adecuados que garanticen la calidad de los procedimientos y protocolos utilizados mediante los análisis.

2.1.1. Área de Análisis

Cada perito tiene a disposición las herramientas y los recursos necesarios para la realización de los peritajes balísticos que le son solicitados al Laboratorio de Balística, así mismo cuenta con los instrumentos adecuados aportando medios de prueba válidos y fehacientes para los procesos judiciales del sistema de justicia. El área de Análisis reúne las condiciones para que los peritos en balística del INACIF lleven a cabo las actividades necesarias de los peritajes balísticos, mediante la implementación de protocolos y procedimientos adecuados en la realización de los análisis y utilizando los conocimientos técnicos-científicos que la labor demanda.

Los peritajes balísticos son realizados siguiendo los lineamientos de protocolos establecidos en los Laboratorios de Criminalística y mediante procedimientos implementados por el Departamento Técnico Científico, el trabajo realizado en el Laboratorio de Balística se realiza en base a los procedimientos implementados y con ello garantiza la integridad e identidad de los indicios recibidos. Todo peritaje balístico debe cumplir y realizar los pasos y procesos de la cadena de custodia para validar y garantizar estos mismos peritajes.

2.1.2. Área de Microscopios

El área de Microscopios es una sección anexa al área de Análisis del Laboratorio de Balística. Esta área está diseñada para realizar los cotejos balísticos a los indicios provenientes de escenas de crimen o cuerpos de víctimas que requieren un análisis comparativo para confirmar o descartar la uniprocedencia de los indicios de una misma arma de fuego, estos cotejos balísticos son llamados cotejos microscópicos o bien análisis microscópico comparativo.

Previo a realizar los análisis microscópicos comparativos los indicios son recibidos, analizados identificados en el área de Análisis y así proceder al área de Microscopios. El área de Microscopios está equipada con las herramientas y equipos necesarios para que los peritos en balística puedan realizar con efectividad y certeza los análisis microscópicos comparativos garantizando la fiabilidad de los peritajes técnicos científicos contribuyendo así al sistema de justicia con medios de prueba válidos y fehacientes para los procesos judiciales.

Como bien su nombre lo indica el área de Microscopios dispone de microscopios de comparación forense que cumplen con las características idóneas y necesarias para realizar análisis microscópicos comparativos de calidad y fiabilidad.

2.2. Área de Investigación y Análisis

Equipado con microscopios de comparación forense y las herramientas e instrumentos necesarios para realizar peritajes balísticos, es necesario para su buen funcionamiento que las condiciones en la que trabajan sean las adecuadas para que su operatividad sea eficaz.

2.2.1. Condiciones ambientales

Los microscopios de comparación forense son dispositivos utilizados para analizar muestras de lado a lado. Posee dos unidades de microscopios conectados mediante un puente óptico, con ello se puede observar una pantalla dividida en dos partes y permite visualizar simultáneamente dos objetos separados, tienen muchos elementos ópticos, mecánicos y electrónicos, incluyendo la iluminación por focos o bombillas eléctricos, existen también microscopios que tienen la capacidad de proyectar las imágenes observadas bajo

los objetivos ópticos, esto es posible ya que se equipan con cámaras digitales y computadoras que poseen un software específico para los microscopios de comparación forense. Debido a esto es necesario que la temperatura ambiente en la que se encuentren sea tal a manera de mantener libres de humedad, a una temperatura ambiente entre 15° y 30° Celsius, y con un porcentaje de humedad del 20 % y 55 %.

Es necesario que la iluminación de los equipos sea moderada ya que por ser equipos que utilizan luz artificial para observar los elementos bajo los objetivos la principal fuente de luz es la utilizada por las fuentes de luz fría, así misma la luz solar produce temperatura que por ser una fuente calor natural, por lo cual no es recomendable que este tipo de luz tenga contacto directo tanto en los microscopios de comparación forense como en los equipos de cómputo auxiliares de estos mismos. Un factor muy importante para la conservación de los equipos es el hermetismo a las partículas de polvo, aunque la limpieza de los equipos elimina muchas de estas es necesario evitar la entrada de polvo al área en que se encuentren los microscopios de comparación forense.

El Laboratorio de Balística del INACIF en su área de Microscopios está equipada con sistema de aire acondicionado para garantizar una temperatura ambiental idónea para los microscopios de comparación forense, así mismo el área de Microscopios se encuentra aislada de las demás áreas del laboratorio y cuenta con equipamiento de control de iluminación en sus ventanas que permiten regular la entrada de la luz natural y de la luz externa.

2.2.2. Condiciones de operación

El entorno de laboral de los microscopios de comparación forense es conveniente sean delimitadas por varios tipos de condiciones, como las

condiciones físicas en que se realiza el trabajo (iluminación, temperatura, tipo de equipos), las condiciones medioambientales (contaminación) y las condiciones organizativas (duración de la jornada laboral, descansos) (INACIF, 2018).

Los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF son utilizados por personal calificado y capacitado para maniobrar los equipos, es de vital importancia que sean utilizados solamente por personal capacitado debido a que requieren procedimientos, cuidados y procesos específicos para que la condición de trabajo y operación sea óptima (INACIF, 2018).

Los peritos en Balística del INACIF son capacitados e informados de las condiciones en que deben operar los microscopios, creando con ello un entorno laboral seguro y fiable. El INACIF vela por que las condiciones de trabajo en las que operan los microscopios de comparación forense y el entorno en que trabajan los peritos en balística sean idóneas y cumplan con los requerimientos necesarios de operatividad.

2.3. Definición de microscopio

La Real Academia Española define Microscopio como un “instrumento que permite observar objetos demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista” (Real Academia Española, s.f., definición 1), este término cuya etimología se deriva del vocablo griego *micro* (pequeño) y *scopio* (observar). En otras palabras, es un aparato cuya función es aumentar el tamaño de una imagen. El microscopio es un utensilio que ayuda al usuario en su tarea de un modo fundamental, y ha posibilitado el estudio científico y que permite observar objetos pequeños para ser percibidos a simple vista. De los diversos microscopios existentes, los de mayor relevancia son el electrónico y el óptico.

El avance tecnológico, entre tantos avances, ha dado como resultado el mejorar y crear microscopios electrónicos y en algunos casos computarizados, estos aportan mayor precisión y mejor calidad de imagen que los microscopios ópticos, el primero en inventarse, la calidad de luz es otra de las aportaciones que la avanzada tecnología ha permitido mejorar entre otras cosas como, calidad y resistencia de las lentes y el aumento de tamaño de imagen, por mencionar algunos casos.

2.3.1. Generalidad de microscopio

Un microscopio es un instrumento diseñado y utilizado para ampliar la vista de un objeto o elemento que es analizado, observado o bien solamente se desea ver bajo el aumento de lentes especiales que permiten observar en un rango de aumento alto o mayor al normal, permitiendo al observador ver los detalles que no son visibles a simple vista.

2.3.2. Historia

La historia del microscopio empieza con la invención del microscopio compuesto, es decir, con la idea de combinar más de una lente para observar objetos de forma aumentada. Acorde con esta definición, la historia del microscopio inició a finales del siglo XVI, posiblemente con el diseño de Zacharias Janssen. (Mundo Microscopio, 2023, párr. 1)

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que antes de la invención del microscopio ya era común la utilización de lentes de aumento, también conocidas como lupas. Las lupas son también un tipo

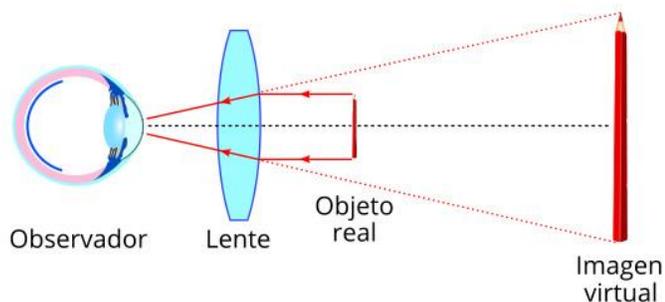
de microscopio llamado microscopio simple. No obstante, cuando se habla del invento del microscopio se hace generalmente referencia a la idea del microscopio compuesto. (Mundo Microscopio, 2023, párr. 2)

- El descubrimiento de los lentes de aumento

Las primeras lentes de las cuales se tiene conocimiento fueron fabricadas por civilizaciones antiguas. A parte de permitir observar objetos de forma aumentada, estas lentes eran a menudo utilizadas para concentrar los rayos de luz en un punto y hacer fuego (Mundo Microscopio, 2023). Algunas también tenían funciones decorativas.

Figura 6.

Principio de funcionamiento de una lente convergente



Nota. La imagen hace referencia del principio de funcionamiento de un lente convergente en su campo de visión. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

Un lente antiguo hecho por los asirios en el 750 a.C. se conservó durante un tiempo, llamado lente de Nimrud. Otras civilizaciones que desarrollaron su conocimiento práctico y científico, como los babilonios, los griegos y los egipcios, pudieron desarrollar un conocimiento especializado objetivo. Durante el Imperio Romano, se utilizaron técnicas para llenar esferas de vidrio con agua. Esta tecnología hizo posible localizar y rastrear objetivos utilizando técnicas de aumento donde el efecto se lograba mirando a través de una esfera. La civilización China logró desarrollar una técnica similar, utilizaron tubos llenos de agua a diferentes niveles para lograr diferentes niveles de expansión.

Esas civilizaciones lograron utilizar técnicas de esta manera, pero con una expansión limitada, hasta finales del siglo XIII en Italia, donde se empezaron a producir lentes para anteojos personales. El comienzo de la creación del microscopio y el telescopio fue un punto clave en la historia y desarrollo de las técnicas de desarrollo (Mundo Microscopio, 2023).

- Invención del microscopio compuesto

La historia sitúa al inventor Zacharias Janssen en el centro del desarrollo del microscopio compuesto como precedente, los archivos se remontan a la década de 1590, otras investigaciones registran el invento como obra de Hans Lippershey. Entre esos inventores destaca Galileo Galilei, que en el año 1690 introdujo el microscopio óptico como un diseño original basado en la combinación de una lente cóncava y una lente convexa. Galilei presenta el resultado de su prototipo con un variado tipo de mejoras y modificando el telescopio básico que desarrolló. Pasar por diferentes modelos de telescopio investigadores y precientíficos; Para el año 1619, Cornelius Drebbel apareció en escena, presentando un diseño único con dos lentes convexas.

Por lo tanto, la aparición del microscopio compuesto se mantuvo entre 1590 y 1620, luego de lo cual el inventor Giovanni Faber acuñó la palabra microscopio para referirse a este aparato (Mundo Microscopio, 2023).

- Zacharias Janssen y su microscopio

Zacharias fue un inventor que, con sus conocimientos en 1590 en colaboración con su padre en la fabricación de anteojos, la idea principal era unir dos lentes con un instrumento cilíndrico, fue así como implementó su idea, observaba los objetos con cierto aumento. según datos históricos, su primer modelo varió de 3X a 9X su aumento, esto dependía de la distancia de la ubicación de las lentes (Mundo Microscopio, 2023).

Figura 7.

Microscopio de Zacharias Janssen



Nota. La imagen representa el invento de Zacharias Janssen, quien descubrió que al conectar dos lentes por medio de un tubo podría apreciar imágenes con mejor definición a largas distancias. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

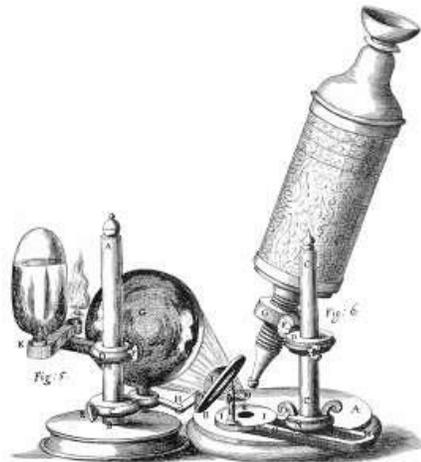
Este diseño en particular es diferente a los modelos de microscopios actuales, el diseño es similar, una lente actúa como ocular y la otra como lente objetivo, en los primeros experimentos, las personas han demostrado que al usar una lente se logra un cierto grado de aumento, este último puede usar dos, se mejorará el factor de aumento.

- Observaciones microscópicas de Robert Hooke

Para fines científicos se adoptó el crédito al científico Robert Hooke, quien en el año 1665 hace la publicación de una obra titulada *Micrographia*.

Figura 8.

Microscopio empleado por Robert Hooke



Nota. Con el microscopio empleado por Robert Hooke se precisa un aumento considerable en sus pruebas de laboratorio, por medio de él, logro visualizar en buena resolución el cuerpo de un piojo. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

Como parte de su trabajo de *Micrographia*, el científico Hooke presenta varias ilustraciones de las observaciones realizadas. El científico usó un microscopio complejo para observar plantas, insectos y otros objetos pequeños que podían observarse con el instrumento. Como parte de su desarrollo de investigación y avance científico, acuñó la palabra célula, con la que pretendía describir las estructuras observadas en el corcho.

En el libro de Hooke *Micrographia* describe un aumento de hasta 50x, además de lograr este nivel de aumento, también demuestra cómo iluminar sus diversas muestras con una vela, lo que permite una imagen más clara y una resolución de mejor calidad, mediante condensador e iluminador.

- El microscopio de Antonie Van Leeuwenhoek

Científico, conocido por sus contribuciones al desarrollo del microscopio, el precursor de la nueva tecnología de lentes, gracias a estas mejoras el microscopio pudo lograr aumentos de hasta 200x. Típico de Leeuwenhoek, comenzó con lentes simples, con una lente, no usó una fuente de luz adicional. La patente de su lente era un secreto, a diferencia de sus descubrimientos. En su investigación publicó sus resultados en cada una de las observaciones realizadas, en sus declaraciones se distinguió la presentación de observaciones sobre glóbulos rojos, diferentes tipos de bacterias, entre otros. bacterias, fibras musculares. Hasta la fecha, es reconocido como el científico fundador y padre de la microbiología.

- El desarrollo moderno del microscopio

Con el incremento de la demanda por los microscopios, se fueron adicionando diferentes empresas para su producción, destacaron

geográficamente las establecidas en Alemania e Inglaterra, países donde surgen innovaciones trascendentes para el microscopio en los siglos XVIII y XIX. En 1776, Jeremiah Sisson de Inglaterra creó la primera torreta de microscopio con lentes intercambiables para observar una muestra. Fue introducido rápidamente por los principales fabricantes de microscopios. Entre ellos destacaba la empresa Leitz, fundada por el empresario Ernst Leitz. A partir de ahí, nació la empresa Leica de hoy, conocida por sus cámaras.

Una de las innovaciones más importantes de Leica fue la producción del microscopio binocular en 1913. Este microscopio binocular tenía la misma calidad de imagen que los microscopios monoculares de la época (Mundo Microscopio, 2023).

Otro importante fabricante de microscopios, también en Alemania, se conoce como Carl Zeiss AG y fue fundado en 1846 por el óptico Carl Zeiss. Se pudo revolucionar la microscopía gracias al progreso del académico Ernst Abbe, quien sentó las bases de la óptica moderna. La teoría, lo que permite que los microscopios se fabriquen a través de prueba y error. La teoría de Abbe también hizo posible mejorar la calidad de los objetivos de inmersión (Mundo Microscopio, 2023).

Otro factor clave de esta época fue la invención de nuevos tipos de vidrio por parte de Otto Schott. Estos nuevos vidrios permitieron fabricar lentes para llevar a la práctica algunos de los conceptos teóricos desarrollados por Ernst Abbe. En 1884, Otto Schott junto con Carl Zeiss, Rodrich Zeiss y Ernst Abbe fundaron la empresa Schott AG para producir lentes de alta calidad que sirvieron para mejorar los microscopios de Carl Zeiss. La teoría de Ernst Abbe permitió que antes de acabar el siglo XIX se alcanzaran los límites de resolución que son físicamente posibles con un microscopio óptico (Mundo Microscopio, 2023).

El desarrollo durante el siglo XX se centró en nuevas técnicas de microscopía basadas en iluminar la muestra con otras técnicas en lugar de con luz visible.

- Partes de microscopio

Posee partes móviles y partes fijas, la mayoría de sus partes son de alta precisión y deben ser calibradas por empresas certificadas, también debe ser utilizada por personal profesional para brindar informes confiables y completos.

Figura 9.

Partes de un microscopio



Nota. La imagen detalla cuales son las partes principales y externas de un microscopio, haciendo un barrido breve por las piezas fijas y piezas móviles, el principal cuidado es en los lentes, que por un mal uso pueden perder calibración. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

Tabla 3.*Sistema mecánico del microscopio*

Elemento	Descripción
Base o pie	Esta pieza que se encuentra en la parte inferior del microscopio y a la que se acopla el resto de los elementos. Esta suele ser la parte más pesada y proporciona el equilibrio y la estabilidad adecuado al microscopio. Comúnmente utilizan topes de caucho para evitar que el microscopio se deslice sobre la superficie en la que se coloca.
Brazo o esqueleto del microscopio	Es la parte intermedia de un microscopio que conecta todas sus partes. Básicamente conecta la superficie sobre la que se coloca la muestra a un ocular a través del cual se puede observar. Las lentes del objetivo y del ocular también se acoplan al brazo del telescopio.
Platina	Es la superficie donde se coloca la muestra. Su posición vertical con relación a la lente se puede ajustar con dos tornillos para obtener una imagen nítida. Las platinas poseen agujeros centrados mediante el cual se ilumina la muestra. Por lo general se adjuntan dos abrazaderas a la platina para sostener la muestra en una posición fija.
Pinzas	Su función de fijar muestras, una vez esta se ha colocado en las platinas.
Tornillo macrométrico	Permite un rápido ajuste de la posición vertical de la muestra en relación con el objetivo. Se utiliza para lograr el primer enfoque que luego se ajusta con el tornillo micrométrico
Revolver	Parte giratoria en la que se montan las lentes. Cada lente tiene un aumento diferente, el revólver permite elegir la más adecuada a cada aplicación. Por lo general, el revólver permite elegir entre tres o cuatro objetivos diferentes.
Tubo	Elemento que se encuentra unida al brazo del telescopio y conecta el ocular a los objetivos. Es un elemento relevante para mantener una alineación adecuada entre los elementos ópticos
Sistema óptico	Son los elementos útiles para generar y guiar la luz a las direcciones que se necesitan, con ello acabar generando una imagen aumentada de la muestra.
Foco o fuente de luz	Elemento importante que crea un haz de luz dirigido hacia la muestra. Diversos casos, el haz de luz se guía primero a un espejo, que a su vez lo dirige hacia la muestra. La posición del bombillo en el microscopio depende de si se trata de un microscopio de luz transmitida o de luz reflejada.
Condensador	Encargado se encarga de centrar los rayos de luz provenientes del foco hacia el objeto a visualizar. En general, los rayos de luz que provienen del foco son divergentes. El condensador consta de una serie de lentes que cambian la dirección de estos rayos, haciéndolos paralelos o incluso convergentes.

Continuación de la tabla 3.

Elemento	Descripción
Diafragma	Es una pieza que permite ajustar la cantidad de luz que cae sobre la muestra. Por lo general, se encuentra directamente debajo de la platina. Al ajustar la luz incidente, puede cambiar el contraste con el que se ve la muestra. La posición óptima del diafragma depende del tipo de muestra a analizar y de su transparencia.
Objetivo	Es el conjunto de lentes que se están más cerca de la muestra y que proporciona el primer paso al aumento. El objetivo suele tener una distancia focal muy corta. En los microscopios modernos, varios objetivos están montados en el revólver. Esto ayuda a elegir el lente adecuado para el aumento que se desea. La amplitud de un objetivo junto con su apertura suele estar descrita en la parte lateral de la pieza.
Ocular	Es un elemento óptico que proporciona el segundo nivel de ampliación de la imagen. El ocular amplía una imagen previamente aumentada por la lente. Normalmente, el aumento del ocular es menor que el del objetivo. El usuario observa la muestra a través del ocular. Dependiendo del número de oculares, se distingue entre microscopios monoculares, binoculares e incluso de tres cámaras.

Nota. Breve explicación de las piezas y partes del microscopio. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

En el sistema mecánico desarrollado para su época, se incorporan elementos principales para poder conformar una estructura, a su vez, se permite mejorar la estabilidad el cuerpo y base, manteniendo elementos ópticos con diseños perfectamente alineados.

2.3.3. Principio de operación

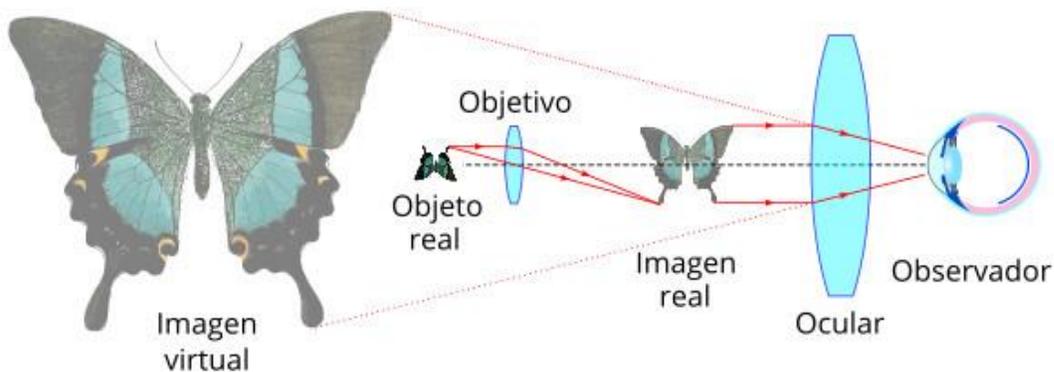
Los rayos de luz son la pieza central de este principio, con el microscopio óptico es necesario utilizar materiales que por su diseño específico logran cambiar el sentido de dirección de los propios rayos de luz. Con esta técnica se logra fabricar diferentes tipos de lentes que por su funcionalidad pueden

converger o divergir los rayos de luz. Con la combinación de los lentes ideales, se permite así, poder generar imagen aumentada del objeto en estudio.

Se realizan comparaciones, empleando una lupa se obtiene cierto grado de incremento de la imagen u objeto de interés, a diferencia de emplear un microscopio óptico, que por su funcionamiento se puede generar una imagen aumentada con la configuración y uso de diferentes lentes. El microscopio emplea lente de objetivo, con estas se genera una imagen aumentada real del objeto de análisis, luego, la misma imagen vuelve a sufrir una ampliación con el lente ocular, generando así, la imagen virtual con tamaño superior sobre la imagen original.

Figura 10.

Representación del funcionamiento del microscopio óptico



Nota. La imagen muestra la relación dimensional de como un objeto de tamaño pequeño ante el observador, puede incrementar su calidez y exactitud en aspectos visuales. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio*. (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

Un factor importante para el funcionamiento de un microscopio óptico es la luz. Por lo tanto, el microscopio óptico está equipado con una fuente de luz y un condensador para enfocar el haz de luz sobre la muestra. A medida que la luz pasa a través de la muestra, la lente es responsable de desviar esa luz adecuadamente para producir una imagen ampliada (Mundo Microscopio, 2023).

2.3.4. Funcionamiento

Así, se la propiedad esencial del aumento del microscopio, que sirve para obtener una definición de calidad sobre el tipo de objeto observado. Con el uso completo de la ampliación en un microscopio se puede comprender la ampliación final de la imagen de referencia. El aumento se clasifica o divide en dos etapas, para un microscopio óptico compuesto, primero participa el lente objetivo, luego el ocular, de estos se debe conocer el grado de aumento para finalmente conocer el aumento total. Para obtener un valor de referencia en futuros análisis se puede utilizar la ecuación 1.

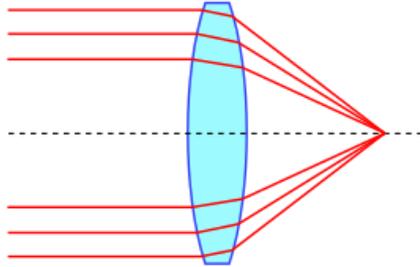
Ecuación 1

$$\text{Aumento microscopio} = \text{aumento objetivo} \times \text{aumento ocular}$$

Dependiendo de la lente utilizada se puede conocer el aumento, depende del fabricante y de las características físicas que lo acompañan. Además, dependiendo del tipo de lente, se nota la capacidad de desviar los rayos de luz, en el caso de una lente convergente, los rayos de luz divergen paralela y eventualmente convergen en el punto focal. Cuando se analiza un objeto con una lente convergente, el resultado final puede ser una especie de imagen virtual que permite observar el objeto de interés a una escala mayor que la original (Mundo Microscopio, 2023).

Figura 11.

Rayos de luz a través de una lente convergente



Nota. La imagen hace referencia de como los rayos de luz atraviesan un lente de aumento, pero su penetración se realiza de forma convergente. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio*. (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

- Aumento útil y aumento de vacío

La ampliación de la imagen siempre debe ir acompañada de una buena resolución, de lo contrario obtendrás una imagen ampliada donde ya no se apreciarán los detalles. Esto ocurre cuando se combinan diferentes lentes para producir una imagen de gran aumento. Habrá momentos en los que la imagen se amplíe, pero la resolución no aumente, por lo que la imagen ampliada no agrega ninguna información nueva. Esto es equivalente a acercar una imagen digital, en algún momento la imagen comienza a verse pixelada y al acercar más se muestran solo píxeles más grandes.

La resolución de una lente está determinada por su apertura numérica. En un microscopio, el aumento y la apertura numérica del objetivo se indican al costado de cada objetivo. Para ver una muestra con buena resolución, debe verse con un aumento de 500 a 1,000 veces la apertura digital del objetivo. Este rango de magnificación se denomina magnificación útil. Si la imagen se amplía

más allá de este rango, la imagen se verá borrosa sin aumentar la resolución. En este caso, el crecimiento se llama crecimiento hueco (Mundo Microscopio, 2023).

Si el objetivo tiene una apertura numérica de hasta 0,70, la muestra de interés debe ser observable en un incremento de 350 (0.70×500) y 700 ($0.70 \times 1,000$). Con lentes de inmersión puede alcanzar un valor de apertura máxima de 1.50. Por lo tanto, el aumento máximo utilizable se puede obtener con un microscopio óptico de 1,500 ($1.50 \times 1,000$). Se cree que, en el mercado actual de microscopios, se pueden encontrar dispositivos con aumentos de hasta 2,000x, que no cumplen con las expectativas y que distorsionan la calidad de imagen más allá del rango de 1,500x.

Figura 12.

Indicación de aumento y apertura numérica en un objetivo



Nota. La imagen representa la parte crítica de un microscopio, a partir de esta pieza se puede hacer un barrido perfecto o fallido, donde se visualiza la muestra de estudio o de análisis. Obtenido de Mundo Microscopio (2023). *Historia del microscopio.* (<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

- Tabla de aumentos

La siguiente tabla muestra el aumento total del microscopio para varios objetivos estándar y aumentos del ocular. Los valores que corresponden a una ampliación útil se resaltan en color verde y el área de Ampliación Vacía se resalta en rojo. Solo se muestran los aumentos entre 500 y 1,000 veces la apertura numérica. El valor entre paréntesis en la columna de los objetivos es la apertura numérica normal correspondiente al número de aumentos.

Tabla 4.

Tabla de aumento monocular

	Ocular			
	10x	12x	15x	20x
Objetivo				
2x(0.06)	20x	24x	30x	40x
4x(0.1)	40x	48x	60x	80x
10x(0.25)	100x	120x	150x	200x
20x(0.4)	200x	240x	300x	400x
40x(0.65)	400x	480x	600x	800x
60x(0.75)	600x	720x	900x	1200x
100x(1.25)	1000x	1200x	1500x	2000x

Nota. La tabla muestra los rangos permisibles para el observador donde el aumento del lente permite un mejor campo de visión. Obtenido de Microscopio Electrónico (s.f.). *microscopio molecular*. (<https://microscopioelectronico.com/microscopio-monocular/>), consultado el 27 de julio de 2022. De dominio público.

2.3.5. Aumento del microscopio electrónico

La difracción de la luz se usa en los microscopios ópticos, pero este efecto a su vez limita la ampliación a un máximo de 1,500x. Según la ciencia de la física, este fenómeno se obtiene como consecuencia de la longitud de onda de la luz. Los microscopios electrónicos, no utilizan una muestra iluminada por un haz de

luz, si no, electrones que permiten iluminar la muestra con una longitud de onda hasta 100000x veces mayor que la del microscopio óptico.

2.4. Microscopio de comparación forense

Su principio consiste en analizar y observar objetos de comparación simultáneamente en dos microscopios, que a su vez están conectados entre sí por un dispositivo llamado puente. La posibilidad de ampliar la imagen por el observador puede ser en grandes tamaños proporcionales. Estos son dispositivos adicionales dedicados a la ciencia forense, en particular en el INACIF se emplea para balística, comparación de muestras representativas y determinación del mismo origen de evidencia presentada para examen y visualizada simultáneamente bajo el alcance de dos microscopios.

2.4.1. Historia

Con ayuda de pruebas científicas y fotográficas se puede demostrar que el origen del proyectil balístico (dudoso), en la víctima era la misma arma, la prueba fue disparar nuevamente el arma homicida, lo que el científico Jeserich propuso como hipótesis, que el cañón del arma es único, pueda dejar una y la misma marca en cualquier número de proyectiles disparados desde esa misma arma, haciendo una comparación fotográfica y demostrando que los dos proyectiles fueron disparados desde la misma arma, permitiendo la condena del culpable (Guzmán, 2018).

Era importante para el científico y desarrollador de teorías académicas Richard Kockel, analizar los fundamentos del cartucho de percusión (culote), y desarrollar su hipótesis, de que cada cartucho cuando es golpeado por la misma arma queda la misma huella creada por el martillo del arma, diseñan pruebas de

campo negativas con láminas de acero y óxido de cinc. Por lo tanto, introdujo la idea de que la recamará de un arma podría causar ciertas características únicas o dañar la base de cada cartucho, incluso el percutor podría dejar marcar reconocibles en la vaina que podrían usarse para identificar el arma. La investigación se completó al inicio de la Primera Guerra Mundial (Guzmán, 2018).

Destaca el científico Waite, Charles, un pionero en balística forense, su investigación comienza con la recopilación de datos característicos de varios tipos de armas fabricadas en Estados Unidos y partes de Europa. Su investigación se centró en un caso de doble asesinato en una granja de la ciudad de West-Shelby, ambas víctimas fueron asesinadas con una pistola calibre 22. En la investigación se logra incautar el arma sospechosa del crimen, que tenía una muesca en la parte final del cañón de salida presentaba una muesca, dicha marca estaba impresa en los proyectiles recuperados de las víctimas. Con el desarrollo de la ciencia forense, se realizan pruebas de disparo para comparación, durante las cuales se obtienen cartuchos con las ranuras correctas, en contraposición a balas dudosas en las que la comparación forense en el transcurso del proceso puede probar la inocencia de los presuntos autores (Guzmán, 2018).

Waite solicitó a Max Poser que le construyera un microscopio equipado con un soporte para mantener sujeto el proyectil, y con una escala de medición que permitiera medir las lesiones más pequeñas que existieran en él. A él se unieron el físico John H. Fisher y el químico y microfotógrafo Philipp O. Gravelle. Esta asociación creó el primer instituto de balística forense del mundo, la Oficina de Balística Forense en New York. Fisher proporcionó dos grandes inventos a la investigación importantes en el campo de balística forense:

- Un instrumento que servía para ver con gran detalle el interior del cañón de un arma de fuego (así se creó el helixómetro).
- Nuevo microscopio de calibración de alta precisión para medir los campos intermedios, líneas y su orientación (Guzmán, 2018).

Cerca de los años 1925 al científico Gravelle le nace la inquietante idea, poder unir dos microscopios utilizando un dispositivo óptico mediante el cual se pudieran visualizar dos proyectiles de bala al mismo tiempo, con la intención de reflejar una sola imagen y lograr así, que ambos dispositivos o microscopios pudiesen girar para poder comparar las coincidencias y diferencias entre los proyectiles de análisis. Seguidamente otro grupo de científicos continúa explorando la hipótesis de analizar el culote de los cartuchos percutidos, encontrando diferentes puntos de interés en sus análisis, destacando la aguja percutora, el bloque de cierre, eran puntos del arma que imprimían ciertas lesiones identificables en los cartuchos disparados (Guzmán, 2018).

Se le puede atribuir al Dr. Goddard el desarrollo de la mayor base de datos balística para su tiempo, además de poder desarrollar el primer laboratorio independiente criminalístico forense dentro de los Estados Unidos. Con todos esos aportes logra contribuir con investigación científica y forense en diferentes casos de análisis, logrando así colaborar con la policía (Guzmán, 2018).

El avance de la investigación forense y balística marca hitos, crecimientos y avances técnicos, la evolución del diseño de armas convencionales, aleaciones de nuevos materiales permiten impulsar la tecnología empleada para analizar diferentes instrumentos, algunas marcas destacan en las investigaciones, las cuales fueron únicas en sus desarrollos tecnológicos y no presentaron cambios a través del tiempo (Guzmán, 2018).

Al igual que la invención de los microscopios de comparación forense, que se desarrollaron para poder desarrollar comparación por análisis balística, su principio de funcionalidad es poder analizar diferentes cartuchos percutidos y lograr determinar si provienen de la misma arma en análisis por la policía o por algún juicio legal. Se busca demostrar que las marcas impresas en los cartuchos recuperados y las ojivas de balas coincidan con una misma arma (Guzmán, 2018).

Tabla 5.

Orígenes de la balística forense

Año	País	Nombre	Aporte
1835	Inglaterra	Henry Goddard	Las armas eran de <i>avancarga</i> y sus propietarios acostumbraban a realizar sus propios proyectiles de plomo con moldes o turquesa. Comparó el proyectil extraído del cadáver de la víctima con el que él mismo realizó con molde secuestrado de la casa de uno de los sospechosos. La comparación fue positiva
1898	Alemania	Paul Jeserich	Compara las estrías del proyectil extraído del cadáver de la víctima con otro indubitado. La comparación es positiva. Utiliza fotografías ampliadas.
Inicios del siglo XX	Alemania	Richard Kockel	Efectúa las primeras pruebas del “desarrollo” del cuerpo del proyectil rodándolos sobre láminas de cera y óxido de zinc y comparando los negativos obtenidos.
	Francia	Víctor Bathazard	Estudia las marcas dejadas en los casquillos de los cartuchos producidas por la mecánica del disparo.
1917	Estados Unidos	Charles E. Wite	Inicia investigaciones en el campo de la balística, junto con el físico John H. Fisher y el químico Phillip O. Gravelle, naciendo así en Nueva York el primer instituto de balística forense del mundo: Bureau Of Forensic Ballistic. Gravelle, crea el primer microscopio óptico comparador, uniendo dos microscopios a través de dos puentes ópticos.

Nota. Se muestra de forma resumida como se origina la balística forense, donde cronológicamente se observan los avances de esta. Obtenido de C. Guzmán (2018). *Breve historia de la balística forense*. (<https://www.gestiondelriesgo.com/artic/discipl/4203.htm>), consultado el 27 de julio de 2022. De dominio público.

Para el desarrollo de la balística es importante mencionar que sus dos pilares fundamentales son la identificación y la identidad, las cuales dan origen a los estudios y análisis forenses.

2.4.2. Funcionamiento

Para su funcionamiento es importante indicar que el microscopio de comparación forense es empleado para poder examinar proyectiles y casquillos de distintas armas de fuego, también pueden ser empleadas para analizar marcas en herramientas con la combinación de ópticas adecuadas, se emplea iluminación precisa, ciertos modelos de microscopios están equipados con software que permite mejorar la técnica de investigación con el operador de dicho instrumento, con estos beneficios, se puede descubrir características superficiales únicas. Se obtienen imágenes de calidad, alta precisión, exactitud dimensional y factor de reproductibilidad de resultados, de esa forma se pueden otorgar diferentes aportes al sistema de justicia, aprovechando medios de prueba con valoración en los procesos de interés.

El microscopio de comparación forense se constituye por un ocular, que son dos objetivos unidos por un puente óptico, por lo cual se aprovecha el uso de un solo ojo del técnico forense, donde puede observar el objetivo de dos objetos diferentes. Dentro de este mecanismo, se incorpora un campo circular, dividiendo una línea de separación por dos zonas (hemicampos), logrando así, poder observar el objeto izquierdo en el hemicampo derecho y el objeto del lado derecho en el hemicampo izquierdo. En la parte baja de cada objeto de análisis puede ser fijado a una platina.

- Partes que lo conforman
 - Dependerá de cada modelo o fabricante, los microscopios de comparación forense presentan variables de aumento de objetivos, iluminación, nivel de desplazamiento de platinas y algunas funciones adicionales. Sus componentes básicos deberán permanecer estandarizados para que puedan ser adaptados y utilizados en los laboratorios forenses.

Figura 13. *Partes principales del microscopio de comparación forense*



Nota. La imagen muestra las partes importantes y principales del microscopio, haciendo énfasis en su cuidado y especialización al ser utilizado. Obtenido de BIO-OPTIC (s.f.). *Excelencia tecnológica y calidad de servicio.* (https://www.bio-optic.com/en_US), consultado el 27 de julio de 2022. De dominio público.

Tabla 6.

Partes principales del microscopio de comparación forense

Nombre de la parte del microscopio	
1	Cámara digital.
2	Tubo de observación de inclinación ajustable.
3	Columna Z motorizada ajustable.
4	Revólver de 6 posiciones, permite obtener aumentos del objetivo paracéntricos.
5	Macroobjetivos apocromáticos.
6	Fuentes de luz fría.
7	Portaobjetos.
8	Telecontrol, permite controlar las platinas y mecanismos de enfoque motorizados de forma remota, ya sea por separado o simultáneamente.
9	Mesa de trabajo, motorizada para regular su altura.
10	Zoom del canal de comparación derecho, permite compensar diferencias de aumento provocadas por la temperatura o por deformaciones, por ejemplo, en proyectiles.

Nota. Se detallan de forma genérica los elementos básicos del microscopio de comparación forense, estos pueden variar de acuerdo con el modelo. Obtenido de BIO-OPTIC (s.f.). *Excelencia tecnológica y calidad de servicio.* (https://www.bio-optic.com/en_US), consultado el 27 de julio de 2022. De dominio público.

2.4.3. Rango de operación

El uso de los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística de los Laboratorios de Criminalística del INACIF no se delimita a horas de uso o períodos establecidos ya que no existen horarios de operación establecidos puesto que depende de la necesidad de realizar análisis microscópicos comparativos, se utilizan registros de uso de los equipos que están sujetos a las jornadas laborales de los peritos en balística los cuales también dependen de la carga laboral y de la necesidad que exista en el laboratorio.

Los microscopios que se encuentran en el Laboratorio de Balística varían de modelo y forma de operación, estos son mecánicos, digitales y electrónicos, delimitando su rango de operación, de acuerdo con el modelo y tipo de operación,

los rangos de aumentos oscilan entre (4x, 10x, 40x y 100x), con campo visual de entre 1.3 y 160 mm según el modelo.

Los tipos de análisis que son de naturaleza balística y que se pueden realizar en casquillos y proyectiles. Estos análisis consisten en observar las huellas balísticas impresas en los casquillos o proyectiles y determinar si existen un único origen de la misma arma de fuego, observando la repetibilidad y reproducibilidad del daño encontrado en los indicios examinados.

2.4.3.1. Huellas que pueden encontrarse en indicios del objeto de estudio

Al momento de revisar los casquillos, el técnico científico debe realizar cuidadosamente varios controles y análisis de las partes físicas de la muestra, especialmente, cuando presenta marcas claras y patrones previamente conocidos. Para lograr este tipo de análisis, es necesario observar una serie de variables, que se detallan a continuación.

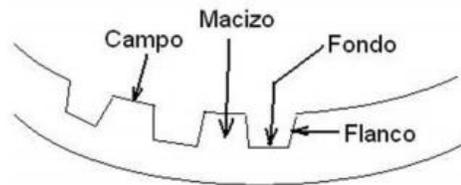
- Cierre de recámara: así lo indica la Ley de acción y reacción; a cada acción, corresponde una reacción igual, y de sentido contrario. Esto significa que cuando la bala (también llamado descone), hacia la boca del cañón, simultáneamente el casquillo es empujado hacia el cierre de recámara, golpeando contra ella misma, la que le transfiere sus marcas.
- Percusión: producidos por el percutor o el martillo de algunos revólveres cuando se golpea la cápsula iniciadora, son determinantes a la hora de peritar los casquillos.

- Fuga de percusión: generada por la aguja percutora en armas de cañón basculante.
- Uña extractora (pistolas): la uña extractora traba en el reborde del casquillo, al producirse la retracción de la corredera, presiona y arrastra la vaina hacia atrás, produciéndole la huella de mención.
- Eyector o botador (pistolas): el casquillo es arrastrado hacia atrás por la uña extractora que acompaña el movimiento de la corredera. Al golpear el culote del casquillo contra el botador, se produce la huella en el casquillo. Como resultado de este impacto, el casquillo es expulsado a través de la recámara de expulsión de la corredera. Estas huellas se ubican en diagonal a la huella dejada por la uña extractora.

Los proyectiles también se evalúan, pero están sujetos a un tipo de peritaje, que el solicitante o la unidad de análisis considera que requiere específicamente para presentar un informe completo, dentro de este proceso de valuación se deberá de comprender el patrón del estriado que se encuentra en la parte interna del cañón del arma.

Figura 14.

Anima de cañón de arma de fuego



Nota. La imagen muestra las partes internas del estriado del cañón con vista frontal y corte transversal. Obtenido de G. Gamarra (2017). *La justicia en manos de la ciencia, nociones de identificación en microscopía balística.* (p. 48). SKOPEIN.

Al pasar el proyectil por el cañón del arma se adapta a la forma de este y, con apenas un pequeño esfuerzo, adopta sus características. Por lo tanto, es posible determinar:

- Cantidad de estrías
- Sentido de giro de las estrías
- Ancho de campos y macizos
- Formas y cantidad de lesiones en la estría o campo

2.4.4. Herramientas

Algunas herramientas necesarias para el uso de estos dispositivos son exclusivamente del laboratorio forense, dentro de ellas, es poder utilizar accesorios esterilizados, guantes de látex para los peritos, trajes de bioseguridad, todo esto para no contaminar las muestras de análisis.

2.5. Factores que afectan el equipo

Existe un conjunto de variables que comprometen el óptimo funcionamiento de los equipos presentes en INACIF, los cuales fueron analizados puntualmente, incorporando los relevantes que permitan orientar la propuesta hacia la viabilidad pretendida.

2.5.1. Falla

Esta es la causa o evento que hace que el dispositivo no pueda realizar sus funciones correctamente o que no realice sus funciones por completo.

2.5.2. Error

Secuencia de situaciones que conlleva a que un equipo, instrumento, un sistema tenga un paro en sus operaciones.

2.5.3. Defecto

Condición inusual en una herramienta, equipos, sistema que deteriorar su funcionamiento.

2.5.4. Avería

Daño causado por una falla en la cual se debe efectuar una reparación o sustitución de piezas.

2.6. Paro no programado

Detención del flujo del proceso de una acción, en la cual se ve obligado a realizar una pausa para la verificación o reparación de un equipo.

2.7. Consecuencias

Los retrasos en los informes parciales y preliminares incrementan constantemente con los paros innecesarios, además de retrasar todo el trabajo en cadena que puede depender de un microscopio en óptimo funcionamiento, los análisis requeridos dependerán no solamente del buen criterio del forense, otros factores que incrementan como consecuencia grave es el costo de operaciones y de oportunidad.

3. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO

3.1. Generalidades del mantenimiento

El mantenimiento tiene varias definiciones, todas las cuales se enfocan en las acciones realizadas en un activo físico para administrar su condición. Se puede observar que, a fines del siglo XIX, la definición de mantenimiento había evolucionado y durante este tiempo el operador era responsable de la resolución de problemas como una función simple para asegurar la producción. La definición ha pasado por varias etapas con nuevos aspectos de atención hasta la actualidad. Actualmente, el mantenimiento se enfoca en mejorar, prevenir, predecir, monitorear, determinar el impacto, causa y efecto de las fallas y otras actividades para optimizar los costos de mantenimiento en todo el mundo.

El mantenimiento puede describirse como una serie de procesos necesarios para restaurar o mantener un sistema en buen estado de funcionamiento al menor costo posible. Las actividades pueden enfocarse en mejoramiento, prevención, salud departamental, control financiero y de calidad. Estas actividades se llevan a cabo a través de diferentes estrategias dependiendo de la naturaleza de las actividades realizadas por la organización y el tipo de equipo. Para reducir costes y optimizar recursos, los responsables de mantenimiento utilizan diferentes estrategias, según las circunstancias, para conseguir sus objetivos.

3.1.1. Tipos de mantenimiento

Las diferentes definiciones y estrategias de mantenimiento han creado diferentes tipos de mantenimiento que, dependiendo de su naturaleza y finalidad, pueden ser correctivos, preventivos o preventivos. Se podría decir que el mantenimiento correctivo tiene como objetivo eliminar los errores y sus consecuencias una vez ocurridos.

Además, se ha descubierto que el mantenimiento adecuado maximiza la vida útil de la pieza y no requiere grandes espacios, pero requiere altas capacidades analíticas por parte del operador. Las reparaciones pueden ser costosas ya que las averías pueden ocurrir inesperadamente, deformarse o dejar de funcionar, a veces se necesitan grandes cantidades de piezas de repuesto y la calidad del servicio puede verse comprometida con el tiempo.

Con base en lo anterior, para un plan de mantenimiento sugerido, se identificarán los tipos de mantenimiento que aportan el beneficio de prever fallas o paros innecesarios y aquel que mediante técnicas y estrategias apoya a los encargados de mantenimiento a predecir posibles fallas o desperfectos de los equipos.

3.1.2. Preventivo

El mantenimiento preventivo, tiene como uno de sus objetivos minimizar fallas, anticipándose con tareas previamente planificadas y programadas, aplicadas a los equipos. Se basa en realizar las reparaciones o cambios de piezas necesarios al vencer un período de tiempo previamente establecido, con la finalidad de disminuir la probabilidad de daños y los tiempos de operación de los equipos. Para el plan de mantenimiento de los microscopios de comparación

forense del Laboratorio de Balística del INACIF, se propone, realizar en las inspecciones secuenciales realizadas en intervalos definidos de tiempo, con el objetivo de mantener los equipos en sus condiciones de diseño evitando su deterioro. Entre las tareas de mantenimiento preventivo se contemplan realizar de tareas de inspección de rutina con el fin de detectar anomalías, tareas periódicas y programadas de cambio de repuestos o componentes de los equipos, mismas que pueden minimizar las fallas de los microscopios.

3.1.3. Predictivo

Se define como un conjunto de técnicas o métodos aplicados a los activos físicos en función del estado de la máquina mediante la medición de parámetros específicos para detectar síntomas e identificar tendencias, a raíz de lo cual se apoya en una óptima planificación, mantenimiento y prevención. Su propósito es detectar los síntomas antes de que ocurra la falla, detectar la falla temprano antes del mantenimiento de la máquina, para garantizar que la máquina o el equipo estén funcionando. Una de sus ventajas se puede denominar optimización y reducción de costos.

Entre las actividades para el plan de mantenimiento de los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF, se propone actividades como monitorear el estado de los equipos, revisar los informes de mantenimiento y testimonios de los operadores, para verificar las fallas, reparaciones y repuestos de mayor rotación e incidencia de sustitución, con ello definir un tiempo prudente para ser sustituidos o realizar las acciones necesarias con el fin de minimizar y evitar una falla.

3.1.4. Programación de mantenimiento

La gestión del mantenimiento está orientada al uso eficiente del capital y los recursos, es una parte importante de la gestión industrial moderna. Como se ha mencionado el objetivo principal de la gestión de mantenimiento es mantener o restablecer el rendimiento de los activos para los usos que está destinado, en un período de tiempo determinado, optimizando sus costos.

La programación de mantenimiento de los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF, deberá ejecutarse mediante Unidad de Mantenimiento de Equipos y Servicios del Departamento Técnico Científico.

3.2. Mantenimiento preventivo

Esto se refiere a asegurar la continuidad de operación de un equipo, dispositivo, mecanismo o herramienta sin que ocurran fallas inesperadas o no planificadas, para lograr esto es necesario aplicar un conjunto de procedimientos y procesos enfocados en un solo equipo.

3.2.1. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento que se vayan a realizar a los microscopios de comparación forense deben de programarse de manera evitar que se cruce con los días de trabajo o cuando exista alta demanda de informes o análisis. Estas pueden variar de acuerdo con el personal que lo realice y la naturaleza de sus funciones.

3.2.1.1. Prueba de operatividad por personal que realiza el mantenimiento

Las pruebas de operatividad consisten en una completa implementación visual y funcional de acuerdo con los estándares y procedimientos dados por la jefatura del departamento. Deben ser programadas según el grado de aceptación de operación de los microscopios, para alcanzar el rendimiento esperada de los equipos.

3.2.1.2. Prueba de operatividad por usuario y perito analista

Pruebas para realizar realizan a cada microscopio de comparación forense para determinar si está funcionando de acuerdo con las especificaciones de desempeño y seguridad establecidas durante su diseño y fabricación. Los equipos que no cumplen con estos requisitos se consideran no aptos para la prestación del servicio, las pruebas deben ser realizadas por personal calificado en cada uno de los diferentes equipos.

3.2.2. Pruebas de operatividad

Se describen las medidas operativas del personal de mantenimiento y del perito analista.

3.2.2.1. Prueba de operatividad por personal que realiza el mantenimiento

Con un microscopio se deben considerar las siguientes pruebas para determinar el correcto funcionamiento del microscopio.

En Guatemala la frecuencia de energía utilizada es 60 Hz, en tanto el voltaje que comúnmente utilizan los microscopios es de 110 V o de 220 V la mayoría de ellos poseen fuente de energía regulada, esta les permite controlar la intensidad de luz de los bombillos que están provistos para dirigir hacia la plataforma de los objetivos a visualizar.

El problema más común que afecta a los oculares es la presencia de polvo o suciedad, que puede ser externa, en las superficies exteriores o internas. Tal suciedad o polvo crea sombras que perturban la muestra analizada, especialmente cuando se utilizan objetivos de alto aumento (40X-100X). La contaminación externa se repara limpiando las superficies de las lentes, la contaminación interna, desmontando las lentes, volviendo a montar y comprobando el estado final.

Las lentes de los oculares también son propensas a rayones, especialmente aquellas que ya han tenido una larga vida útil. Surgen por descuidos en los procedimientos de limpieza y por el uso de elementos inadecuados en dichos procesos. Los rayones proyectan sombras en el campo de visión del ocular, similares a los de una telaraña. Desafortunadamente, este tipo de defecto obliga a cambiar el ocular. Algunos tienen mecanismos de enfoque que a veces se atascan. Para reparar, se desmonta el ocular, se aplica solvente a la rosca, se limpia el mecanismo de enfoque y se vuelve a ensamblar.

Si los lentes del ocular presentan roturas debido a circunstancias fuera de control (golpes por caída, uso indebido), debe cambiarse el ocular.

3.2.2.2. Prueba de operatividad por usuario o perito analista

El estado de la cabeza binocular afecta directamente a la calidad de la imagen microscópica. La suciedad adherida a los componentes ópticos del cabezal degrada la calidad de la imagen. Este componente puede contaminarse por situaciones relacionadas con el trabajo normal de laboratorio, tales como cambiar los oculares, instalar accesorios como cámaras fotográficas o simplemente olvidarse de colocar las cubiertas cuando no está en uso el microscopio. Sus componentes más importantes son prismas y espejos. Por lo cual previo a su uso, verificar el estado de la cabeza binocular.

3.3. Mantenimiento predictivo

A diferencia del mantenimiento preventivo, sigue la ideología de evitar averías con la ventaja del tiempo de predictivo, siempre que el equipo, máquina o herramienta funcione en condiciones ideales, diseñado según el fabricante, por lo que se necesario ceñirse principalmente a los detalles y características de sus componentes de acuerdo con la vida óptima calculada, sujeto a ser reemplazado o sustituido con programación justificada.

3.3.1. Calibración

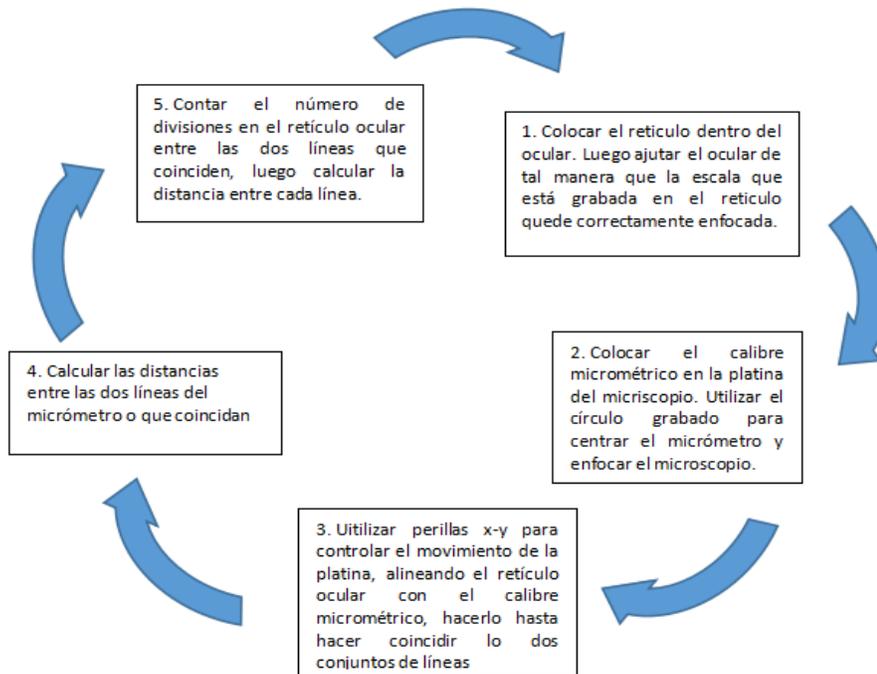
El microscopio forense ofrece flexibilidad y comodidad, lo que lo convierte en una herramienta versátil para analizar armas de fuego y marcas en herramientas.

Este sistema versátil es ideal para la observación simultánea de evidencia física en los campos de la formación y el peritaje. El puente de comparación de alta calidad acepta dos conjuntos de objetivos corregidos apocromáticamente sincronizados sobre revólveres de cinco posiciones con cojinete de bolas.

El campo de visión de 22 mm produce una imagen recta, no invertida. La imagen se mueve en la misma dirección que el objeto, lo que facilita y agiliza la manipulación.

Figura 15.

Pasos recomendados para calibrar un microscopio



Nota. El diagrama de la imagen, muestra los 5 pasos fundamentales para calibrar un microscopio. Obtenido de BIO-OPTIC (s.f.). *Excelencia tecnológica y calidad de servicio.* (https://www.bio-optic.com/en_US), consultado el 27 de julio de 2022. De dominio público.

3.3.1.1. Parte óptica

La parte óptica es muy sensible al tacto o al movimiento manual, por lo que es de suma importancia enfocarla con precisión de acuerdo con las necesidades del observador o técnico asignado. No se utiliza el método de calibración homogénea, pero esto queda a discreción del usuario responsable.

3.3.1.2. Parte mecánica

La parte mecánica no suele ser móvil o graduable, al ser una parte fija, muy rara vez se puede mover hacia arriba o hacia abajo.

3.3.1.3. Parte electrónica

Todos los componentes electrónicos que conforman un microscopio se prueban con las tablas de los fabricantes, que proporcionan una variedad de atributos y rangos que deben obtenerse de acuerdo con varias configuraciones esperadas o permitidas.

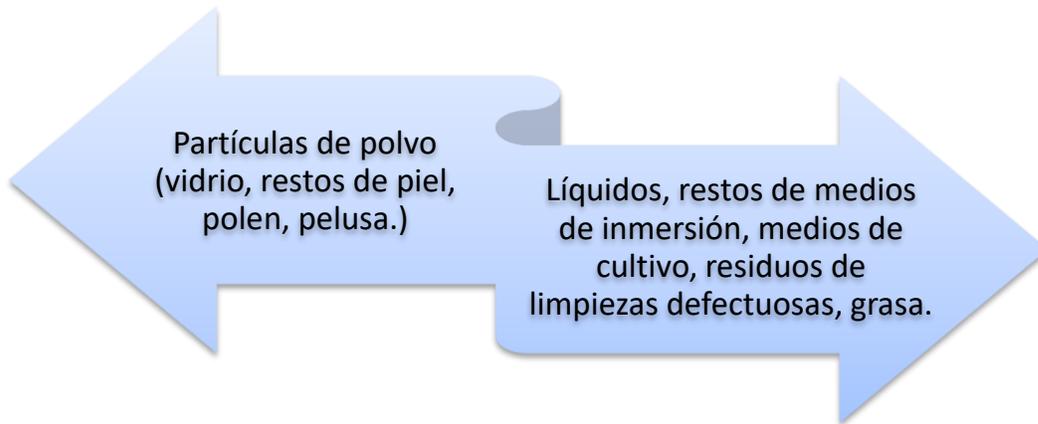
3.3.2. Inspección

El primer paso debe ser un examen general bajo el microscopio, para determinar el estado general de las piezas. El factor más dañino para un microscopio es el polvo, por lo que debe cubrirse cuando no se esté en uso.

- Daños evitables: polvo, pelusas, manchas
- Reducción de la calidad debido al uso inadecuado del aceite de inmersión

Figura 16.

Contaminantes críticos y dañinos en los microscopios



Nota. Existen diversos agentes perjudiciales para los microscopios, sin embargo, se muestran los más comunes y dañinos. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3.3. Limpieza

Eliminación del polvo o restos de materia, esto pueden resultar materiales abrasivos de modo que hay que eliminarlos con cuidado.

Tabla 7.

Factores a incluir en la limpieza del microscopio

	Descripción
•	Con un pequeño aspirador.
•	Con un cepillo suave.
•	Soplando con una pera.
•	Con un spray de aire comprimido o nitrógeno que no suelte aceite ni grada de ningún tipo.
•	Nunca soplar, se produce contaminación por saliva.
•	Dando toquécitos con papel húmedo.

Continuación de la tabla 7.

	Descripción
Eliminación de restos adheridos.	Absorber el líquido con papel.
	Disolver y limpiar los restos con agua destilada.
	Secar bien.
Cuando se elimina el aceite de inmersión.	No se debe ir colocando una gota tras otra en el objetivo cuando se cambia de muestra.
	Se debe eliminar el aceite anterior antes de volver a colocar más aceite.
	Entre muestra y muestra: simplemente se elimina con un papel óptico, sin necesidad de disolvente.
	Al concluir la sesión: se debe añadir al procedimiento anterior una gota de etanol y se deberá secar bien.

Nota. Según capacidades adquiridas en la experiencia laboral. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3.4. Lubricación

Los fenómenos que presentan mayor ataque de desgaste hacia los elementos mecánicos o equipos industriales son la corrosión, fatiga y desgaste físico. Particularmente el desgaste se puede definir como el grado superficial de daño provocado por materiales luego de un periodo de tiempo determinado por el uso continuo y cierto grado de trabajo realizado. Comúnmente se presenta ese fenómeno en la superficie de los objetos o materiales, gradualmente se continua el desgaste provocando así niveles o porcentajes de disminución ocasionando pérdidas importantes en tolerancias permisibles en el objeto de análisis.

Para el análisis de lubricación con formato estandarizado se puede emplear la norma ISO 4406, con la cual se utiliza la metodología de cuantificación y clasificación de partículas según el tamaño de estas y que se pueden comparar en dicha norma, además, en otros tipos de análisis de lubricación se puede gestionar el uso de la norma *U.S. National Aerospace Estándar 1638*. Para la norma ISO 4406 es importante destacar que se encuentran especificaciones

sobre dos o tres diferentes grados en los niveles de limpieza, haciendo así referencia a la presencia de partículas por cada mililitro de lubricante extraído de muestra.

En la norma se dispone de un código para dos diferentes tamaños, según su primer número puede entenderse una referencia a partículas mayores a (5) micrones, con el segundo número se hace referencia a partículas con tamaños mayores a (15) micrones. También se puede encontrar representación de código para tres tamaños, donde su primer número hace referencia de la cantidad de partículas > de 2 micrones, su segundo número hace referencia a partículas > de 5 micrones y por último su tercer número hace referencia a partículas > de 15 micrones que los hay generalmente en condiciones anormales de operación.

3.3.4.1. Cremalleras

Pieza móvil por medio de la cual se obtiene movimiento en diferentes sentidos del tornillo micrométrico y del tornillo macro sin importar la amplitud. Se reconoce que el sistema ocular puede localizarse sobre el tubo ocular, siendo sus lentes quienes captan y logran ampliar cada imagen conformada en los objetivos. La necesidad de realizar el mantenimiento de lubricación en las cremalleras es importante, según el fabricante puede emplearse grasa libre de ácidos, para evitar ataques químicos en su esmalte.

Se deberá emplear el uso de un paño fino para poder pulir todas sus partes metálicas, se deberá aplicar aceite de maquina en el paño, ese aceite también debe ser bajo en proporciones de ácidos, para un buen mantenimiento preventivo es necesario realizar esta actividad en periodos de seis meses, sin exceder el tiempo de trabajo.

3.3.4.2. Engranajes

Para el mantenimiento de estas piezas móviles es importante emplear aceite de tipo mineral con formulación de altos índices de aditivos y viscosidad, además de contener en cierto grado azufre con fósforo para otorgar así mejores características de extrema presión, anti-herrumbre, des emulsión y otorgando beneficios al *micropittin*, esta actividad deberá considerarse como rutina de mantenimiento semestral, sin exceder ese tiempo de operaciones.

3.3.4.3. Platinas

Parte fundamental del microscopio, esencialmente es donde descansaran los objetos sometidos a diferentes análisis o comparaciones microscópicas, se conforma por diferentes piezas que interactúan entre sí, el trabajo esencial de la platina es lograr controlar la posición del objeto de muestra sometido al análisis forense. Sus movimientos pueden ser en el eje X y en el eje Y, el técnico deberá graduar el movimiento, con acercamiento o retirando del lente hasta lograr obtener calidad de imagen definida, esto lo realiza accionando botones independientes micrométricos y macrométricos.

Para realizar el mantenimiento del porta - objetivos, se deberá girar suavemente el trinquete del tren óptico del microscopio. Por medio de esta técnica se puede ajustar la posición de forma correcta con el siguiente objetivo. Según el manual del fabricante, así puede estar definida la cantidad de objetivos que podrían llegar a ser posicionados sobre el revólver, por experiencia se considera que diferentes revolver pueden aceptar hasta cinco objetivos, tres como mínimo.

El objetivo del mantenimiento en estas piezas móviles es garantizar que por el tipo de uso se disponga del equipo lubricado, ajustado y limpio, así como en perfecto funcionamiento el mecanismo rotatorio. Los objetivos de inmersión demandan que por cada vez se concluye de utilizar el objetivo, deberá de ser limpiado con aceite especial, con la función de evitar contaminación capilar que pueda invadir la estructura óptica, además de esto, es necesario realizar la limpieza superficial de las piezas ópticas externas.

3.3.4.4. Micrómetros

Se reconocen como los discos de vidrio, sobre los cuales se puede rayar a escala de división en unidades de 50 – 100. Las divisiones pueden optar a diferentes medidas, eso dependerá del objetivo empleado, para cada objetivo es necesario calcular la unidad del ocular micrométrico, se puede realizar sobre imponiendo en la escala del dispositivo ocular sobre la escala que se encuentra grabada en la porta – objetos, se reconocen sus medidas en divisiones de 0,1 y 0,01 mm. Luego de concluir la calibración de cada objetivo, no se pueden intercambiar los objetivos, el disco micrométrico y el ocular, para nuevos cambios, se deberán realizar nuevas calibraciones.

- Procedimiento de calibración
 - Debe desatornillarse el lente por la parte superior o por su parte inferior, según el fabricante o modelo, luego se deberá colocar el disco micrométrico sobre el diafragma. Posteriormente a eso, se debe reponer el lente, insertando el ocular en su posición final. Deberá de utilizarse papel especial para lente, de esa forma se puede limpiar el disco y sus lentes oculares.

- Seguidamente, se deberá colocar sobre la platina del microscopio el porta -objetos y graduar el enfoque según escala requerida. Se recomienda emplear graduación de menor aumento continuando hacia otros objetivos.
- Se deberá distinguir el conjunto de divisiones de 0,1 mm y 0,001 mm, para optimizar el enfoque del micrómetro y así lograr una imagen claramente definida.
- Se deberá hacer coincidir la línea 0 del portaobjetos milimetrado con la línea 0 de la parte en el ocular micrométrico.

3.3.4.5. Porta objetos

Piezas frágiles en el microscopio, para su mantenimiento y limpieza deben ser manipuladas con precisión, los portaobjetos se conocen por su fragilidad, por su alto grado de criticidad deberán resguardarse en cada análisis forense realizado, el nivel de limpieza es exigente y continuo por ser la parte donde descansa la muestra en análisis. Se les aplica líquido especial con cierto porcentaje químico para eliminar bacterias y otro cuerpo que pueda invadir la muestra.

3.4. Programación de mantenimiento

Se deberá considerar inicialmente las especificaciones del manual del fabricante, donde se presentan acciones, actividades y tiempos estimados de ejecución en protocolos de limpieza, lubricación y reemplazo de piezas móviles. Parte de la programación del mantenimiento debe incluir los aditivos, lubricantes,

químicos y detergentes especiales empleados en la limpieza de piezas fijas o móviles.

Se deberá disponer de un conjunto de herramientas y materiales para el mantenimiento preventivo adecuado:

- Es necesario disponer de jeringa tipo pera con #5 con aire comprimido
- Se debe de incluir un despachador con 40 % de éter y 60 % de acetona
- Se requiere de palillos para cotonos y algodón esterilizado.
- Un desarmador tipo estrella o de cruz
- Un desarmador (6) plano y llaves tipo Allen
- Estopas.
- Thinner
- Silicón en forma líquida

3.4.1. Procedimiento general de mantenimiento

Por la calidad de precisión requerida en los microscopios, por el alto índice de contaminación por partículas microscópicas y filamentos, es necesario trabajar con altos estándares de precisión cada mantenimiento en los microscopios, la sensibilidad de sus mecanismos y la fragilidad de algunas piezas hace en si una tarea minuciosa, el alcance en los microscopios por los desarrolladores ha incrementado gradualmente, se disponen de equipos con mejores resultados y calidad de resolución en sus imágenes, pero ese grado de calidad hace del equipo un mayor compromiso en el cuidado preventivo y correctivo, la tolerancia es el factor crítico que al asignarse un técnico de mantenimiento deberá garantizar que el equipo se encuentra calibrado antes de iniciar las acciones y garantizar que al concluir sus tareas de mantenimiento se

posea el mismo nivel de certeza en las tolerancias de medición, cada fabricante calibra sus equipos.

Tabla 8.

Aspectos esenciales del mantenimiento e instalación

Aspecto	Medidas a tomar
Condición ambiental	Las medidas ambientales en las que deben instalarse y operar los microscopios, se debe tomar en cuenta que el área proteja los equipos de polvo y otras partículas que puedan dañar o afectar su funcionamiento, además de que la temperatura ambiente ideal de operación debe permanecer ser de 20°C a 24°C (70°F a 75°F)
Medidas de prevención	El área asignada deber estar alejada o protegida de fluidos o sustancias químicas, ya que el contacto con ellas puede dañar significativamente los microscopios de comparación forense. Así mismo evitar que tengan contacto directo con la luz solar.
Sistema de energía eléctrica	La fuente de alimentación eléctrica preferentemente deber ser aislada o única para los microscopios de comparación forense, deben contar con sistemas de protección de picos de voltaje y unidades de protección ininterrumpida. Verificar que las conexiones y tomas eléctricas se encuentren en perfecto estado.
Área de Instalación de los Equipos	Los microscopios deben poseer o ser instalados en una mesa nivelada que permita al usuario acomodarse idealmente para el uso de estos, cuidando la ergonómica al momento de ser utilizados
Vibración estructural	Debe evitarse que el área asignada no sea afectada por vibraciones de las instalaciones o agentes externos que provoquen estos fenómenos, ya que los mismos pueden provocar daños a las partes y elementos sensibles de los microscopios de comparación forense.
Ubicación de los equipos	En la medida posible deberá ubicarse cada equipo en un lugar fijo donde no sea reubicado, evitando con ello movimientos bruscos que pueden causar daños a los equipos.
Medidas de protección	Puede utilizarse protectores vinílicos o plásticos para cubrir los microscopios si no son utilizados en un tiempo prolongado, con ello se protegen de polvo, humedad y otros agentes invasivos.

Nota. Es necesario se procure cumplir con estas condiciones mínimas para el mantenimiento e instalación de los microscopios, las cuales aportaran beneficios para la preservación y minimización de las fallas en los mismos. Elaboración propia, realizado con Word.

3.4.2. Actividades mínimas a realizar

El dispositivo debe limpiarse diariamente, esta rutina se considera la más importante, se pueden seguir los siguientes pasos para llevar a cabo esta actividad correctamente.

- Materiales por emplear
 - Se debe utilizar un trozo de tela, libre de contaminantes y libre de textura.
 - A cada estación o equipo se le asigna un bote de líquido limpia lentes, este líquido permite limpiar sin rayar los cristales por sus propiedades químicas, se puede utilizar xileno, gasolina blanca o etil éter.
 - Para limpiar los lentes se debe usar papel espacial, es recomendable comprar el que se vende en ópticas. Un sustituto del papel puede ser un trozo de seda suave o algodón médico.
 - Es necesario emplear gamuza súper fina.
 - Requiere de pera de caucho, idealmente para la activación de aire.
 - Para proteger la superficie del microscopio, se debe comprar una cubierta de plástico para evitar la contaminación.

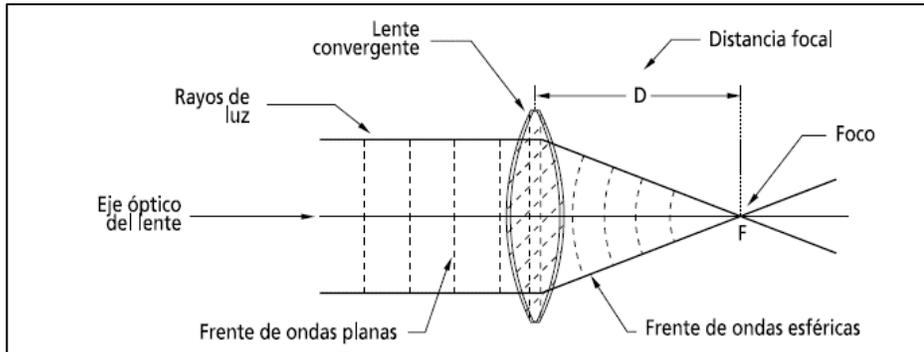
- Para la limpieza fina de la estructura y de las partes de difícil acceso por su pequeño tamaño, es necesario utilizar un cepillo fino o pincel de pelo de camello seco, suave y libre de grasa.
- Se necesita un desecante, se puede usar gel de sílice, idealmente se puede comprar un paquete de 250 gramos y usarlo para controlar el nivel de humedad en la caja de almacenamiento del instrumento (microscopio). Cuando la concentración de humedad es alta, el material se decolora y, por lo tanto, indica la necesidad de renovación, en su estado natural o normal puede ser azul.
- Algunos artículos como fusibles y bombillas, deben comprarse de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante del dispositivo en particular.

3.4.3. Descripción del equipo

Para el diseño básico de un microscopio, es esencial contar con un lente óptico, además de emplear ciertas propiedades físicas de sus lentes en relación a los rayos de luz. Sus dimensiones comúnmente se presentan en forma esférica y parabólica. El principio de funcionamiento es hacer pasar diferentes rayos de luz en la superficie del lente, luego de eso, la misma converge hacia un punto de salida F. En ese fenómeno se pueden percibir dos acciones distintas, cuando se obtiene dispersión de los rayos se obtiene el efecto divergente o negativo, a diferencia del efecto positivo o convergente. Para los microscopios se emplean lentes de tipo convergente (fenómeno positivo).

Figura 17.

Lente positivo convergente

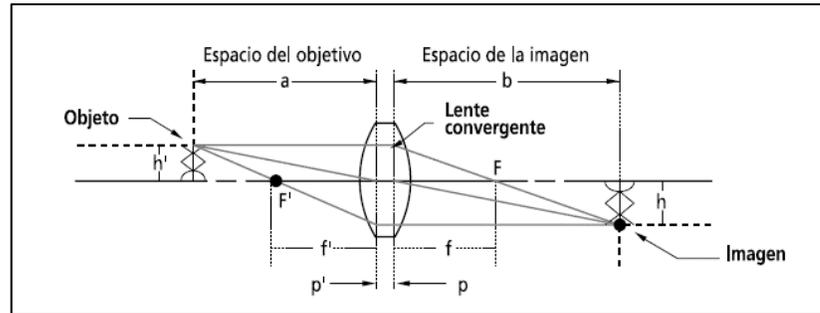


Nota. La imagen muestra un ejemplo del tipo de lente que utilizan los microscopios. Obtenido de A. Sole (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración.* (p. 106). Alfaomega.

En la ilustración es posible identificar el foco [F] lugar donde se concentran los rayos luminosos y la forma en que es refractada la luz al atravesar el lente. La distancia entre el lente y el foco [D] se conoce universalmente como distancia focal. La figura que se muestra a continuación resume los conceptos relacionados con el funcionamiento de los lentes, los cuales se aplican en el diseño y fabricación de los elementos ópticos del microscopio.

Figura 18.

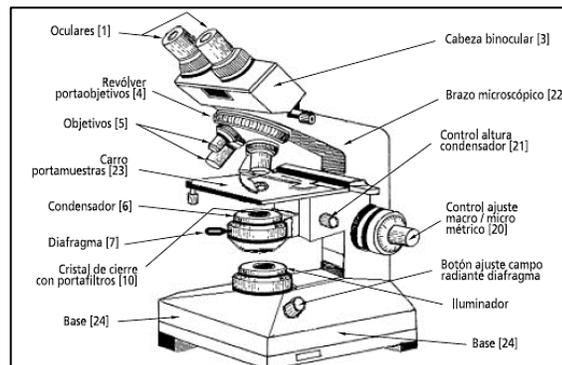
Funcionamiento del lente



Nota. La imagen muestra un ejemplo de operación del lente. Obtenido de A. Sole (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración.* (p. 107). Alfaomega.

Figura 19.

Diagrama del equipo (isométrico y corte)



Nota. La imagen muestra las partes que conforman el equipo (isométrico y corte). Obtenido de A. Sole (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración.* (p. 108). Alfaomega.

3.4.4. Número de inventario

Para el INACIF es importante consignar un número único de inventario a cada equipo adquirido, los dispositivos que no han logrado ser inventariados no pueden emitir certificación de respaldo legal, además el registro de inventario deberá consignar la oficina donde se ubica y el departamento al que pertenece, en sus registros se pueden anotar las acciones correctivas y mantenimientos otorgados.

3.4.5. Ubicación

Por su grado de sensibilización y calibración, no es aconsejable estar trasladando el equipo de un punto a otro punto, sin importar si es dentro de una misma instalación u oficinas cercanas, razón por la cual se identifica un número de inventario versus un número de oficina asignada.

3.4.6. Frecuencia

El fabricante dispone ciertas actividades diarias, mensuales y semestrales, parte de la responsabilidad del INACIF es desclasificar si las actividades propuestas en el manual del fabricante logran dar sostenibilidad de operación y alcance eficiente en los resultados por cada microscopio, de lo contrario se puede trabajar en conjunto con el departamento de Mantenimiento, para diseñar una bitácora de monitoreo específica con acciones preventivas.

3.5. Especificaciones técnicas para la adquisición del servicio de mantenimiento

Dentro de la institución se dispone de personal capacitado para realizar diferentes acciones preventivas y correctivas de mantenimiento en los equipos disponibles, cuando el personal no posee la capacidad técnica requerida para ciertas actividades de mantenimiento, es necesario contratar alguna empresa externa que realice estas actividades, la cual deberá presentar constancias de certificaciones en preparación previa para otorgar este tipo de servicios.

3.5.1. Frecuencia de mantenimiento

Para cada equipo en la institución es diferente la guía de mantenimiento, algunos equipos por su grado de confiabilidad solamente necesitan limpieza constante y lubricación periódica, actividad que puede realizarse cada mes o trimestre, estos equipos son de bajo requerimiento de mantenimiento.

3.6. Hojas de paros

Se presentan dos panoramas distintos, cuando un equipo presenta fallas operativas se incurre en paro no programado, para el cual se asigna personal de mantenimiento calificado para evaluar el nivel de criticidad y accionar reactivamente ante la falla presente. El otro panorama presente, es cuando el departamento de Mantenimiento ha logrado diseñar su programa de mantenimiento por el cual traslada su agenda a las autoridades competentes indicando el día, fecha y tiempo necesario para dar el mantenimiento necesario a un equipo específico de una oficina específica.

3.6.1. Tipos de paros

Se presentan dos paros, los programados y los no programados, uno de ellos ocurre cuando se presenta una falla inesperada y el otro es cuando se ha agendado y programado un mantenimiento preventivo.

Tabla 9.

Control de paros programados y no programados

Entidad		Analista		
Fecha	Procedimiento			
Equipo	Procedimiento	Paro programado	Paro no programado	Horas estimadas
Microscopio	Desmontaje integral, (cabezal porta oculares, objetivos, prisma, filtros)			
	Falla del sistema óptico (oculares, objetivos, prisma)			
	Verificación del sistema de iluminación y filtros de luz			
	Verificación de los conectores internos y el sistema eléctrico			
	Armado de las unidades, pruebas de seguridad eléctrica y operatividad			
Supervisa		Autoriza		Observaciones

Nota. Tabla de control donde se presenta el equipo, procedimiento, paros y horas estimadas. Elaboración propia, realizado con Word.

- Propuesta de plan de mantenimiento preventivo-predictivo enfocado en la minimización de fallas, para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística.

De acuerdo con el análisis experimental desarrollado, se propone un modelo de plan de mantenimiento preventivo-correctivo con actividades mínimas a desarrollar en los microscopios de comparación forense, las cuales se enfocan en generalidades de los diferentes modelos de microscopios de comparación forense que se encuentran en el área de Análisis Microscópico del Laboratorio de Balística. Estas actividades mínimas se proponen sean realizadas por cualquiera de las empresas a cargo del mantenimiento de estos equipos, así mismo habrá actividades específicas que esta misma empresa deberá realizar de acuerdo con los procedimientos de mantenimiento establecidos en su procesos y bitácoras de trabajo. Será el departamento a cargo de los mantenimientos de los microscopios de comparación forense el encargado de revisar, estudiar y analizar los procedimientos y procesos de la o las empresas interesadas en prestar el servicio de mantenimiento a estos equipos y de velar que se cumplan las actividades mínimas y específicas en el respectivo servicio. Dicha propuesta se realiza para los nueve equipos con los que cuenta el Laboratorio de Balística y sus características son:

Tabla 10.

Microscopios en el Laboratorio de Balística

Marca	Modelo	Marca	Modelo
Leica	FS C	Leica	FS M
Projectina	UCM	Leica	DMC (4 unidades)
Leica	K2700	Reichert	K2700F

Nota. Se muestran las tres marcas y los modelos de los microscopios del Laboratorio de Balística. Elaboración propia, realizado con Word.

- Actividades mínimas para realizar

Debe enfatizarse que un microscopio de comparación forense es un equipo de alta precisión y que sus componentes ópticos, eléctricos y mecánicos deben preservar su integridad con el fin de conservarlos y ser efectivo su rendimiento. Se le dará prioridad a las actividades mínimas a realizar debido a que estas se anteponen a las actividades específicas y puede decirse que son las primeras y todas las actividades a realizarse en todo mantenimiento de microscopios de comparación forense.

Para ello se ha de identificar tres tipos de actividades mínimas las cuales están enfocadas en la reducción de fallas y la conservación de lo microscopios de comparación forense, estas actividades son: actividades de inspección y supervisión, actividades de limpieza y actividades de mantenimiento.

- Actividades de inspección y supervisión
 - En cuanto a los microscopios deberá revisar que sus componentes móviles funcionen y operen de manera normal, poniendo atención a ruidos, funcionamientos defectuosos o anormales. Revisar el estado del objetivo, verificar si los lentes presentan rayones, picaduras o muescas y con indicios de prueba verificar que el enfoque sea adecuado y eficiente. Revisar el funcionamiento de los sistemas eléctricos e iluminación, que operen dentro de su rango de funcionamiento, potencia y tipo de iluminación, ajuste de altura y ajuste de enfoque.

- Asegurarse que el área en que se encuentren los equipos sea un área nivelada y permita facilidad y comodidad de movimiento del usuario u operador de los microscopios de comparación forense. Deberá disponer de puertas que permitan controlar el acceso al área de Microscopios y resguarden los mismos.
- Inspeccionar y asegurarse que el área de Microscopios se encuentre protegida de polvo y humedad evitando filtraciones de estos mismos agentes, debe revisarse que cuente con sistema de aire acondicionado, medidor y control de temperatura y humedad, la temperatura recomendada para el ambiente de operación de los equipos es de 77 °F.
- Debe inspeccionarse que el área de Microscopios se encuentre alejada o resguardada de ambientes húmedos, ambientes que acumulen agua o posas de aguas, sustancias químicas que puedan afectar los equipos y debe evitarse que estén expuestos directamente a la luz solar.
- Verificar que el área de Microscopios cuente con fuentes de energía eléctrica que provean la corriente eléctrica adecuada para cada equipo según especificaciones de fabricante (ver manual de los equipos).
- Cada microscopio de comparación deberá estar equipado con una silla de altura ajustable y diseño ergonómico que garantice una correcta postura del operador o usuario de los equipos.

- Cada equipo permanecerá en un sitio del cual no deberá ser trasladado, salvo en casos específicos como de reparación, reinstalación o reacomodo del área de Microscopios o los mismos equipos, esto con el fin de evitar daños por mal manejo de traslado, daños a piezas y elementos frágiles y conservar los microscopios de comparación forense.
 - Cada microscopio de comparación forense debe contar con una funda protectora que lo resguarde del polvo, humedad y salpicaduras, esta debe ser instalada al finalizar la jornada y retirada al inicio de la jornada laboral.
- Actividades de limpieza

Estas actividades podrán ser una rutina diaria que sea asignada a una persona o departamento específico previamente capacitado para dichas actividades, ya que, si el uso de los microscopios de comparación forense es diario y continuo, se entenderá que la manipulación de estos puede conllevar que estos tiendan a ensuciarse o bien a tener necesidad de esta misma rutina. Para ello se recomienda contar con los materiales siguientes:

- Toalla o pedazo de tela limpia de preferencia de microfibra o textura que no deje residuos y minimice los rayones en las superficies donde es utilizada.
- Líquido de material para limpieza de lentes, para ello deberán consultarse los manuales y especificaciones de fabricante.

- Papel o paños para la limpieza de lentes que no dañen ni rayen los mismos.
- Brocha, cepillo o pincel fino, de preferencia de pelo de camello para la limpieza de los equipos, deberá escogerse un material que no deje residuos o pelus de la brocha o material seleccionado.
- Pera de aire, puede ser de uso dental, esto con el fin de evitar humedad y altas presiones de aire como es el caso del aire comprimido que podría ocasionar algún daño a las partes frágiles de los equipos.

Cabe mencionar que se deberá consultar las especificaciones del fabricante, así como los procedimientos de las actividades específicas de la empresa a cargo del mantenimiento de los microscopios de comparación forense sobre el uso de alcohol y acetonas, entre otros líquidos o químicos. Todo material a utilizar debe estar en buen estado de conservación, limpio y libre de humedad.

- Procedimiento de limpieza
 - Limpieza de objetivos, elementos ópticos y unidades auxiliares del microscopio.

Esta actividad deberá realizarse únicamente de manera externa y procurando no tocar los lentes de aumento de los objetivos, debido a que, si no se hace de la manera adecuada, se corre el riesgo de rayarlos o que sufran algún daño por mal procedimiento. Se recomienda que el procedimiento sea el siguiente:

- ✓ Primero: remover manualmente todas las partículas o elementos ajenos al microscopio y sus elementos.

- ✓ Segundo: con el cepillo o brocha limpie la superficie de la mesa del microscopio y todos los elementos axilares, unidad de iluminación, objetivos, unidades de Potencia, computadora, monitor, cámara y demás elementos de acuerdo con el modelo de la unidad a la que se realice el mantenimiento. Puede auxiliarse con la pera de aire o aire comprimido para remover partículas sobre superficies que no permitan limpiarse con las cerdas del cepillo o brocha, (evite soplar, ya que esta actividad puede generar humedad en las superficies y elementos internos de donde se realiza la misma).

- ✓ Tercero: frotar suavemente con la pieza de tela los elementos de la unidad de microscopio de comparación forense y sus elementos auxiliares, podrá utilizarse materiales auxiliares de limpieza como espuma, en el caso de la mesa del microscopio siempre con el debido cuidado de no generar humedad, para esta actividad es preciso consultar si el fabricante permite y recomienda algún material ideal, así mismo se recomienda consultar con la empresa encargada del mantenimiento sobre los materiales a utilizar en el caso que sus procedimientos lo sugieran o permitan.

- ✓ Cuarto: ordenar todos los elementos auxiliares que hayan sido movidos de su sitio para la actividad de limpieza y deberá cerciorarse de que no haya humedad.

Es recomendable que el departamento encargado de los mantenimientos evalúe la opción de realizar la actividad de limpieza de los lentes de los macroobjetivos, en el caso que se asigne internamente a un encargado de estas actividades, para ello consultarse con la empresa a cargo del mantenimiento el capacitar al encargado de acuerdo a sus procedimientos internamente establecidos.

- Procedimiento de mantenimiento

El procedimiento de mantenimiento se sugiere sea parte de las actividades específicas a realizar y se recomienda queden a cargo de la empresa que sea asignada para el mantenimiento de los microscopios de comparación forense, las mismas deberán realizarse de acuerdo con los procedimientos establecidos para la conservación de los equipos, y se pretende que deberán evaluar y analizar de manera previa a elegir la empresa designada.

Se propone que dentro de las actividades del procedimiento de mantenimiento figuren las siguientes:

- Comprobar que las fuentes de luz funcionen de manera adecuada, en la intensidad necesaria y que la proyección de iluminación sea óptima para la actividad del usuario. De ser necesario deberán ajustarse o reemplazarse.

- Verificar que las plataformas se desplacen de manera adecuada y suave en las direcciones que se desplazan, derecha e izquierda, adelante y atrás (eje X y eje Y), de acuerdo con su modelo y diseño, así mismo que las mismas mantengan su posición al momento de fijarse. En los casos que lo amerite y permita, deberán ajustarse y lubricarse.
- Verificar que el funcionamiento de los porta-objetos (soportes para proyectiles y soportes para casquillos), sea adecuado, suave y que los mismos se mantengan firmes al momento de posicionarlos en la ubicación seleccionada.
- Comprobar que el enfoque de los macroobjetivos y sus diferentes lentes de aumento sea el mismo para ambos lados, así mismo que el funcionamiento de los revólveres y las platinas altura ajustable sea suave y mantengan firme su posición, de acuerdo con su modelo y diseño de cada equipo.
- Limpieza y lubricación de los componentes mecánicos de acuerdo con los procedimientos establecidos por la empresa encargada del mantenimiento y las especificaciones del fabricante.
- Verificar y si es necesario lubricar y ajustar el alineamiento óptico.
- En los casos de los equipos que posean mesa de altura ajustable, verificar su funcionamiento se suave, silencioso y adecuado.

- Los equipos que posean cámara deberán realizarse su mantenimiento respectivo de acuerdo con los procedimientos establecidos y las especificaciones del fabricante, si el modelo lo permite y es necesario deberá ajustarse.

4. DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO

4.1. Planeación de mantenimiento

Los microscopios son instrumentos que operan de manera precisa, son fabricados con materiales de alta calidad que deben manipularse de manera delicada. Con el cuidado y mantenimiento adecuado, este tipo de herramienta puede durar muchos años, pero la pérdida accidental de una de sus piezas puede dañarla e inutilizarla, razón por la cual la planificación y programación del servicio es un elemento tan importante en el departamento de Mantenimiento, enfocadas a estos instrumentos.

Para diseñar de manera estratégica un plan de mantenimiento para los microscopios de comparación forense deberán tomarse en cuenta actividades que se enfoquen en restaurar y mantener el buen funcionamiento de estos, además al invertir recursos en el mantenimiento-predictivo podrán minimizarse las fallas y evitar reparaciones de alto costo a largo plazo. Los encargados de este servicio pueden auxiliarse de documentos de apoyo como listas de verificación y hojas de control de paros.

4.1.1. Listas de verificación

Con la ayuda de listas de verificación, puede registrar y controlar las actividades realizadas en función del cronograma y programación del mantenimiento.

Además, cabe señalar que el servicio se realizará mediante subcontratación (participación de una empresa externa), los aspectos a cubrir por la entidad mediante la prestación de servicio de mantenimiento para cada equipo según el Instituto Nacional de Ciencias Forense de Guatemala deben ser:

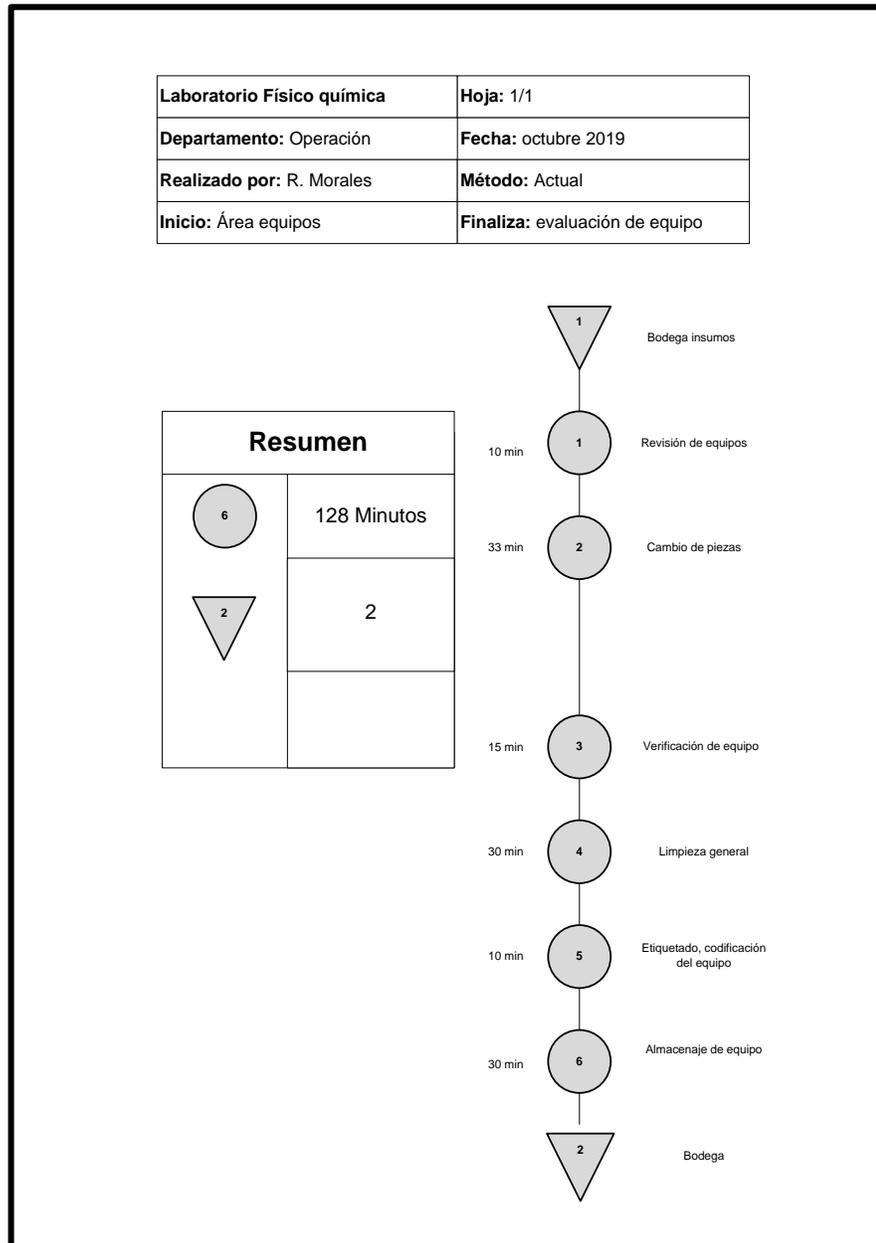
- Mantenimiento a parte óptica (cabeza binocular, oculares, objetivos, lentes, entre otras).
- Mantenimiento y lubricación de parte mecánica (platina, cremallera, micrómetro).
- Mantenimiento de parte electrónica (cámara, enfoques, calibración y ajuste, mesa ajustable, entre otros).
- Mantenimiento y revisión de hardware -cuando aplique-.
- Mantenimiento de revisión de software -cuando aplique-.
- Mantenimiento preventivo de la impresora -cuando aplique-. (INACIF 2018).

4.1.2.1. Diagrama de flujo

En la siguiente figura se presenta el diagrama de flujo del procedimiento general.

Figura 20.

Diagrama de flujo de operaciones



Nota. Presentación de procedimiento general en forma de diagrama. Elaboración propia, realizado con Visio 2013.

4.1.3. Actividades secundarias a realizar

La selección de prioridad de equipos se basa en la necesidad de servicios reportada por el interesado en recibir estos servicios, a través de la necesidad de mantener y restaurar los equipos utilizados en sus procesos de negocio. Basándose en este diagrama, determine qué parte del dispositivo necesita más atención en caso de falla. Entonces, de acuerdo con los parámetros o criterios de prioridad, este enfoque de diseño de mantenimiento se aplicará utilizando los siguientes factores.

- Periodicidad de fallas: muestra la frecuencia con la que una falla de un microscopio se presenta en un período establecido.
- Nivel de operación: operatividad aproximada del funcionamiento de un microscopio.
- Tiempo promedio de reparación: media estimada del tiempo empleado para reparación de una falla.
- Impacto en la operatividad: disponibilidad de un microscopio que se deja de obtener debido a fallas presentadas.
- Costo de reparación: inversión promedio empleada por falla ocurrida para restaurar el microscopio a condiciones óptimas de funcionamiento.

4.1.3.1. Diagrama de proceso

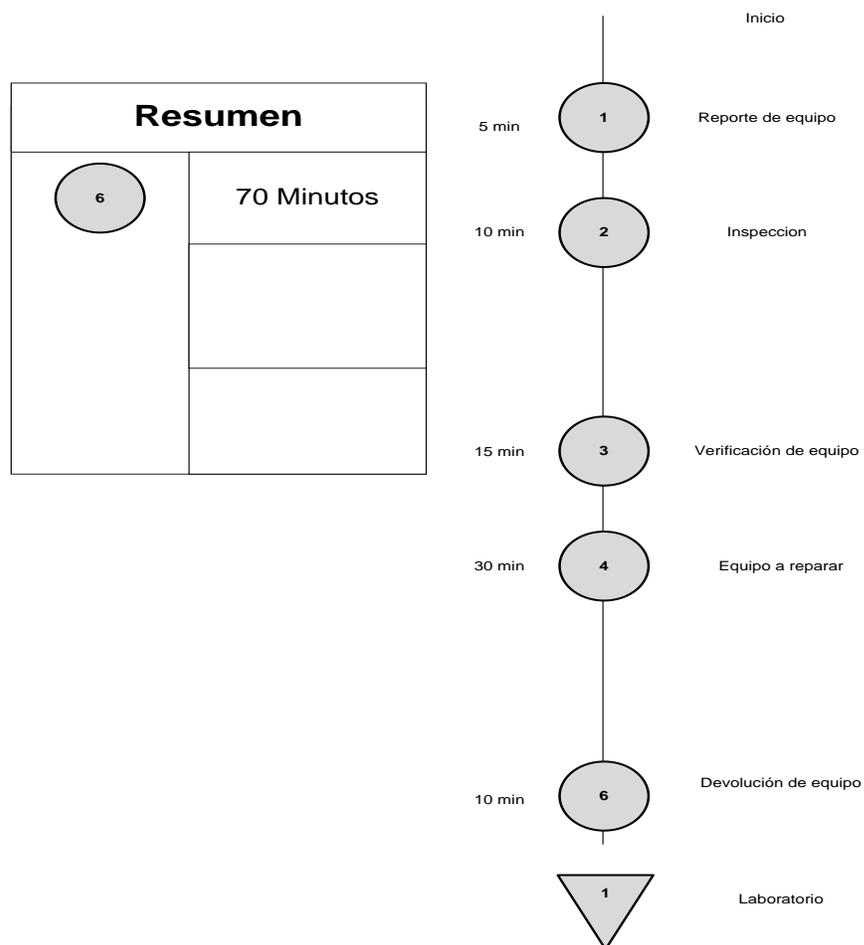
Según se analizó en la sede central de INACIF pueden mejorarse ciertas fases en el departamento de Operación, haciendo uso de estrategias y

herramientas de la ingeniería industrial, que permitan ahorrar costos, tiempo y esfuerzo de más por los técnicos a cargo de las diferentes tareas asignadas, así es como se presenta el diagrama con una propuesta idónea que permita mejorar los análisis y trabajos realizados.

Figura 21.

Priorización de equipo

Laboratorio Físico química	Hoja: 1/1
Departamento: Operación	Fecha: octubre 2019
Realizado por: R. Morales	Método: Actual
Inicio: Área equipos	Finaliza: Priorización de equipo



Nota. El diagrama muestra el conjunto de procesos considerables para hacer la priorización del equipo necesario en el Laboratorio de Balística. Elaboración propia, realizado con Visio 2013.

4.2. Mantenimiento preventivo

Se describe las actividades de mantenimiento preventivo para el equipo microscópico de comparación forense.

4.2.1. Mantenimiento de la parte óptica

La parte óptica requiere un cuidado y tratamiento especial debido a su alta sensibilidad y frigidéz, por lo que el fabricante especifica los pasos mínimos y pasos a seguir para un cuidado óptimo de este dispositivo.

4.2.1.1. Cabeza binocular

Se revisará que el cabezal del microscopio gire los 360° alrededor del cuerpo y ver que tenga un ajuste de giro. Revisando el tornillo opresor que sé vera en el cuello de giro.

4.2.1.2. Oculares

Comenzando por quitar los oculares, ya que estos suelen ser los más sucios, es necesario comenzar con una buena limpieza, comenzando con aire, ya sea con la jeringa o aire comprimido y luego con un algodón humedecido con una solución de acetona al 60 % y se humedece con éter al 40 % en un dosificador de solvente, para que no se evapore, se pasa sobre el lente ocular y en un sentido, tratando de atravesar todo el lente, se tira el algodón, se toma otro y se hace la misma operación visto que la superficie está limpia cuando desaparece la grasa y el polvo adheridos (LEICA, 2019).

La parte posterior del ocular siempre se revisa sin desmontar, ya que el montaje de los oculares de fábrica no contiene impurezas internas, y es imposible la penetración de polvo a no ser que se deje el ocular en lugares húmedos. Nunca abrir el ocular, un componente óptico que está sellado y que puede perder la alineación óptica de lentes (LEICA, 2019).

Figura 22.

Limpieza de oculares



Nota. La imagen fue captada en el laboratorio forense haciendo la práctica de limpieza a un lente. Elaboración propia.

4.2.1.3. Objetivos

Los objetivos también se removerán de su lugar, estos cuentan con un sistema de rosca en el revólver del microscopio y se destornillaran cada uno de ellos para poder limpiar las caras de mayor contacto con las muestras de análisis de trabajo; se hará la misma aplicación que con el ocular limpiando con algodón y aire a presión por la parte posterior del objetivo. No se deberán violar, sacar, sumergir en soluciones de limpieza a los objetivos, ya que estas prácticas dañaran permanentemente al objetivo, en la parte posterior se inyectará el aire a presión para su limpieza, la cual será suficiente.

4.2.1.4. Lentes accesorios

Para altas ampliaciones es necesario disminuir aún más la distancia focal del objetivo sin introducir aberraciones. Esto se logra añadiendo al frente del objetivo un sistema de dos lentes al que se acostumbra a llamar dúplex frontal; se obtiene así, el llamado objetivo sumergible o de inmersión. El dúplex frontal del objetivo sumergible hace uso de las propiedades de los puntos aplanáticos de Abbe (LEICA, 2019).

Figura 23.

Lente



Nota: Ejemplo de los diferentes lentes a utilizar. Obtenido de A. Sole (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración.* (p. 122). Alfaomega.

4.2.1.5. Otras partes ópticas

El condensador y el diafragma son piezas muy delicadas, subiendo el condensador cerca de la platina, se afloja el tornillo opresor que se encuentra a un costado del diafragma y con las dos manos se sujeta el condensador que generalmente está integrado el diafragma, con la precaución de no lastimar la

óptica de amplificación o difusión de la fuente de iluminación que está en la base del microscopio, ya afuera se limpiará primero la base o soporte de la óptica del condensador la cual generalmente tendrá muchos residuos ya secos de viejas muestras y quizás pequeñas astillas de vidrio, ya que con frecuencia los portaobjetos se fracturan y en este lugar se depositan pequeños fragmentos de vidrio, con los cuales habrá de tenerse cuidado (LEICA, 2019).

Se puede usar *thiner* para limpiar la parte mecánica de desplazamiento del condensador y en donde se hayan depositado residuos de gilol (xilol) o de muestra de análisis. Pasando la aplicará como en las anteriores (ocular y objetivo) el mismo procedimiento de aire, algodón y la solución de acetona con éter tanto en la lente superior como en la interior. NO se deberá desarmar el condensador y diafragma, ya que no es necesario, solo en caso de que el diafragma presente daño (LEICA, 2019).

4.2.1.6. Lubricación y sellado de la parte óptica según necesidad y cuando aplique

Con base en la experiencia de campo, se considera necesario lubricar la parte óptica durante tres meses y luego proceder al sellado, lo que puede asegurar y garantizar el correcto funcionamiento en los dispositivos.

4.2.2. Mantenimiento y lubricación de la parte mecánica

Por ser la parte expuesta del microscopio y por su composición de polímero con metales, es necesario limpiarse con paño seco, no es adecuado agregar aditivos o líquidos que solamente comprometan la integridad física del microscopio, siempre es adecuado basarse en el manual del fabricante, para no cometer errores considerables (LEICA, 2019).

4.2.2.1. Movimiento de platina XY

Parte móvil del microscopio, se diseña para escurrir con apoyo de la gravedad distintos materiales, además de eso, es una piza clave que permite soportar los objetivos de análisis o muestras en estudio. Para el movimiento se dispone de regleta de desplazamiento, se incorpora a ella el conjunto de pinzas de sujeción de portaobjetos, estos a su vez pueden ser removidos para otorgar limpieza profunda al portaobjetos y mejor acción de engrase sobre las cremalleras XY.

Figura 24.

Verificación de la platina



Nota. Fotografía captada a una platina de microscopio previo a realizar limpieza del equipo. Elaboración propia.

4.2.2.2. Cremallera

Los microscopios en se encuentran equipados con mecanismos y elementos que permiten el movimiento lineal, puede ser vertical o horizontal, estos son conocidos como cremalleras, el constante uso de los microscopios

provoca fricción y desgaste de estas, si los materiales con los que son fabricados no son de alta resistencia puede generarse desgaste y daño. Por lo cual es necesario se realicen diversos tipos de ajuste a los elementos que intervienen en la fijación y operación de las cremalleras que en algunos microscopios es considerada como engranaje (LEICA, 2019).

El personal a cargo del servicio de mantenimiento deberá evaluar con su experiencia y métodos las condiciones en que se encuentran estos elementos, el área a lubricar, el tipo de lubricante y materiales a utilizar mediante el servicio, de igual manera debe ajustar los tornillos y elementos que fijan estos mecanismos a los microscopios de acuerdo a la necesidad de cada equipo y según sea el caso, es importante que el personal de la entidad a cargo del mantenimiento sea calificado y este provisto de protocolos específicos para el servicio de este tipo de equipos.

4.2.2.3. Micrómetro

Este elemento de los microscopios utilizado para determinar la amplitud de imagen los objetivos y testigos que se analizan, debe tratarse de manera meticulosa ya que delicados, el personal a cargo del mantenimiento de los microscopios de comparación forense deberá realizar pruebas de funcionamiento, ajustar y calibrar si es necesario, así como su limpieza según los protocolos de trabajo establecidos.

4.2.3. Mantenimiento de parte electrónica

Generalmente las partes electrónicas de los microscopios de comparación forense permanecen selladas, por lo que la limpieza superficial es una actividad esencial por realizar, la cual, debe ser únicamente con un paño seco, evitar

aplicar líquidos directa o indirectamente y utilizar un limpiador en aerosol para los contactos eléctricos.

4.2.3.1. Lámparas

Los microscopios de comparación forense de Laboratorio de Balística están provistos de iluminación que es proporcionada por bombillas, razón por la cual deben revisarse las conexiones eléctricas de estas, monitorear el estado funcionamiento y la calidad de iluminación según los protocolos de servicio y la experiencia del usuario. En los casos que estén equipados con fusibles es necesario verificar el estado de estos.

4.2.3.2. Movimientos de ajuste electrónico

Al realizar actividades de mantenimiento el técnico deberá realizar con cuidado los pasos de limpieza, para no dañar los contactos y partes electrónicas de los microscopios de comparación forense. Si es necesario deberá retirar elementos que sujeten las piezas electrónicas y con cuidado proceder a reinstalarlos, utilizando las tareas descritas en el manual del fabricante y los protocolos de mantenimiento.

4.2.3.3. Enfoque

Si es necesario se deberá desarmar la parte del ocular, luego se aplica un producto que permita la limpieza de los elementos, se limpia el mecanismo de enfoque y luego se procede a armar el conjunto de partes separadas.

4.2.3.4. Calibración

Operaciones críticas del personal de mantenimiento o subcontratistas. La actividad está dirigida a lograr las condiciones óptimas de cada elemento electrónico de los microscopios de comparación forense y se centran en las partes oculares y los discos micrométricos. Los oculares de otros dispositivos no son intercambiables como objetivos. Si se reemplazan estas piezas, será necesario volver a calibrar el dispositivo.

4.2.3.5. Cámara y accesorios limpieza y reajustes

Se sugiere que la unidad de Mantenimiento de Equipos y servicios designe a una persona responsable de verificar el estado de los microscopios, con ello notificar problemas específicos o posibles por el mal estado de la cámara o accesorios en el microscopio, así mismo se verifique la limpieza del equipo, de manera que el personal encargado de mantenimiento al momento de prestar este servicio proceda a limpiar todas las partes móviles y externas presentes, procede a medir su calibración, si el dispositivo no muestra resultados precisos, procede a la calibración y finalmente ajusta las partes móviles, completando estas operaciones.

4.2.3.6. Mesa ajustable

Los microscopios de comparación forense utilizan este elemento como soporte y base donde se instala el equipo, en algunos casos esta mesa es de altura ajustable, dentro del programa de mantenimiento, se deberá verificar que cumpla con el rango de ángulo de inclinación y nivelación que especifique el fabricante, caso contrario debe ajustarse y si es necesario se puede reparar o sustituir dicha pieza según sea el caso.

4.2.4. Limpieza

Generalmente en la fase final del mantenimiento, se verifica que todas las piezas que fueron sometidas a lubricación, ajustes, sustitución y calibración deben encontrarse limpias de los agentes químicos empleados en el proceso de limpieza y libres de materiales excedentes de lubricación, para eso es necesario revisar y de ser necesario con un fragmento de tela, propicio para el mantenimiento de microscopios y que no deje residuos, frotar los elementos externos de los equipos. La intención es retirar sobre las partes superficiales todo excedente que pueda comprometer el uso de los microscopios por el especialista evitar daños por los agentes externos utilizados.

4.2.5. Ajustes

El personal a cargo del mantenimiento procederá a ensamblar las partes y elementos que han sido retirados del microscopio durante el proceso de mantenimiento y calibración, deberá iniciar por la última pieza que fue removida, así ordenadamente hasta colocar la primera pieza, puede auxiliarse de los manuales del fabricante. Al concluir esas tareas de ajustes se procede a realizar pruebas de observación para garantizar el óptimo funcionamiento.

4.2.6. Iluminación

Los microscopios de comparación disponen de luminarias, que se utilizan durante los análisis microscópicos comparativos, parte del mantenimiento, es garantizar que las luminarias funcionen correctamente.

4.3. Mantenimiento predictivo

Para el diseño del plan de mantenimiento se propone un conjunto de tareas y acciones que permitirán reducir los fallos inesperados en los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF, por ello no se considera relevante el costo de operación o el costo de oportunidad por fallo presente, para esa institución es primordial procesar las pruebas solicitadas por las diferentes oficinas del sistema judicial en el tiempo programado, de las cuales dependerán ciertos resultados en los juicios penales ventilados (LEICA, 2019).

4.3.1. Calibración de parte electrónica

Para el diseño de plan de mantenimiento se proponen un conjunto de actividades a realizar para ejecutar la calibración en la parte ocular.

- Se sugiere emplear papel seda u otro material apto para la limpieza del ocular milimétrico y el objeto.
- Debe dar monitoreo a las dimensiones de los lentes oculares en sus reglillas, observar todas las indicaciones presentes en el objeto milimétrico y con ello dar a cada división un criterio valido a su longitud.
- Sí es necesario se debe sustituir el objeto milimétrico, posteriormente se procede a centrar y enfocar.
- Los oculares milimétricos según, sí es el caso deberán de ser sustituidos y deben coincidir las reglillas en el ocular milimétrico y la reglilla en el objeto.

- Calcular las dimensiones por cada división incorporado en la reglilla milimétrica que está siendo utilizada, observando la proporcionalidad del ocular milimétrico. Es necesario determinar el conjunto de divisiones en la reglilla.

4.3.2. Cambio de repuestos o insumos de mayor rotación

Se recomienda sustituir elementos y piezas de los microscopios de comparación forense únicamente si el equipo presenta daños en estos en especial si afectan su funcionamiento, de lo contrario es criterio del técnico responsable solicitar este tipo de acción. Sin embargo, existen piezas que de acuerdo con los registros pueden presentar incidencia de desgaste o falla en ciertos intervalos de tiempo y pueden sustituirse antes de llegar a la falla.

4.3.2.1. Focos de iluminación

Se estima que un foco puede otorgar luminosidad de alta calidad hasta por 15,000 horas de uso, el manual del fabricante estima que luego de ese periodo de uso tenderá a difuminar la intensidad del foco, por lo cual sería importante o aconsejable sustituir el foco de iluminación, ya que mediante ese dispositivo se refracta la luz, concentrando así los rayos de luz que posteriormente atravesaran el lente (LEICA, 2019).

4.3.2.2. Platinas

Para los microscopios es bajo el índice de desgaste en esas piezas, quedando a total discreción del personal de mantenimiento solicitar cambio de pieza, por el tipo de material se considera que esta pieza es altamente resistente a la abrasión y al desgaste. Según el manual del fabricante los técnicos deberán

actuar con cuidados especiales al manipular los dispositivos, el tiempo de vida estimado por el fabricante es de 3,600 horas efectivas de uso.

4.3.2.3. Engranaje tornillo sin fin de mesa ajustable

Las acciones de mantenimiento contemplan, el monitoreo constante, la inspección sobre el lubricante para determinar su nivel de contaminación o suciedad, que posea residuos sólidos como polvo o residuos líquidos por reactivos químicos que pueden provocar oxido.

4.3.2.4. Adhesivo de porta objetos

Se debe evitar el uso y empleo de químicos abrasivos, el adhesivo es un material totalmente descartable, por cada muestra que se realiza, se emplea un nuevo tiraje o material de aporte en el portaobjetos, se desechan para no contaminar la siguiente muestra.

4.4. Programa de mantenimiento y calibración de equipo

Para el INACIF es importante estructurar así las tareas de monitoreo que han desarrollado por capacidades internas, a eso, se le pueden sumar las actividades preventivas incorporadas en los manuales de cada equipo presente, la idea del programa de mantenimiento es garantizar la continuidad en sus tareas diarias, garantizar el perfecto funcionamiento del equipo y garantizar la minimización de riesgo a paros inesperados por fallas recurrentes.

4.4.1. Descripción del equipo

Se diseñó la guía de u orden de trabajo para validar el estado de los equipos antes de iniciar cada jornada de labores, también se deberá utilizar al concluir la y anotar las posibles fallas detectadas.

Tabla 12.

Guía para anotar la descripción del equipo cada día

Entidad		Departamento				Logo	
LABORATORIO							
Descripción de equipo							
Unidad							
Código del equipo	Nombre del equipo	Marca	Modelo	Ubicación	Descripción del servicio de mantenimiento	Observaciones	

Nota. El formato de la guía es una propuesta que pretende acumular la bitácora de revisiones diarias, asignando al departamento de Mantenimiento, para darle seguimiento y prevención ante alguna falla. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.2. Número de inventario

Se desarrolló una guía de inspección de inventario con la finalidad de llevar el control de los registros diarios, de quienes solicitan equipo específico, insumos, repuestos y materiales complementarios al utilizar los microscopios.

Tabla 13.

Hoja de control de inventario

Entidad		Departamento			Logo	
		LABORATORIO				
Identificación de equipo						
Unidad						
Código del equipo	Nombre del equipo	Descripción de la acción realizada	Repuestos utilizados	Costo Quetzales-	Ubicación	

Nota. La hoja de control de inventario diseñada servirá para obtener la información en cualquier tiempo t de los insumos, repuestos y accesorios solicitados a bodega. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.3. Ubicación

En el apartado 4.2.2 se presenta la hoja de control para inventario en la cual en una de las casillas se determina la ubicación del equipo.

4.4.4. Frecuencia

La frecuencia de los mantenimientos será directamente proporcional al ritmo e intensidad de trabajo, si un equipo no es empleado se mantiene en total resguardo, de lo contrario si un equipo está siendo utilizado sus mantenimientos deberán ser cíclicos con revisiones por lo menos 1 vez por semana.

4.5. Hoja de paros

Luego de realizar diferentes acciones en la institución y ser parte de algunos procesos internos de control, supervisión, mantenimiento y traslado de órdenes de inspección, se valoró la necesidad de plantear y diseñar una guía de datos que recolecte la información acerca de los paros que se presentan, estableciendo cuales fueron los motivos, las variables involucradas y las acciones correctivas tomadas en el momento.

Por lo tanto, se propone el diseño y uso de la hoja de paros que recolecta información importante, que a través de un tiempo de prueba-error junto al personal de mantenimiento se logró concluir que la información a consignar será la relevante para futuras toma de decisiones, control de operaciones y seguimiento de las fallas en los equipos.

4.6. Elementos auxiliares de microscopios de comparación forense

Los microscopios comparación forense están provistos de elementos principales y adicionales, algunos de los principales serán parte del análisis de este estudio, algunos de los elementos adicionales que son irrelevantes serán descartados o su vida útil simplemente no dependerá del uso o no uso del equipo.

4.6.1. Cámara microscópica digital

Las cámaras de microscopía se caracterizan especialmente por imágenes en vivo de tiempos cortos de transmisión de imagen, tiempos de respuesta cortos, alta resolución y deben ser compatibles con casi todos los microscopios que utilizan este tipo de accesorio.

Figura 25.

Cámara microscópica digital con sensor de 20 megapíxeles



Nota. Este elemento permite focalizar la muestra en estudio o análisis. Obtenido de LEICA (2019). *Cámaras de microscopía.* (<https://www.leica-microsystems.com/es/productos/camaras-de-microscopia/>), consultado el 30 de julio de 2022. De dominio público.

Figura 26.

Cámara CMOS integrada para microscopios estereoscópico



Nota. Este tipo de cámara presenta versatilidad el incorporar dispositivos auxiliares para compartir la imagen vía cable coaxial. Obtenido de LEICA (2019). *Cámaras de microscopia.* (<https://www.leica-microsystems.com/es/productos/camaras-de-microscopia/>), consultado el 30 de julio de 2022. De dominio público.

4.6.2. Software de computadora y cámara de microscopios

Las cámaras empleadas en los microscopios de comparación forense utilizan tecnología digital de alta resolución, así mismo están provistas conectividad que puede ser mediante un puerto de conexión USB 2.0, entre otros, con la finalidad de poder conectarse y proyectar las imágenes en vivo a la computadora del equipo a la que es asignada, en caso de que aplique. Para ello la computadora debe contar con un software de proyección de imágenes de los microscopios de comparación.

Figura 27.

Cámara digital con software



Nota. la cámara digital de nuevo alcance, posee el software integrado a su sistema de barrido y análisis muestral. Obtenido de Pax-it (2022). *Cámara digital USB 2.0 para microscopio.* (<https://www.paxit.com/camara-digital-usb-2-0-para-microscopio/>), consultado el 30 de julio de 2022. De dominio público.

4.6.3. Hardware de computadoras de microscopios

El hardware provee los elementos necesarios para el diseño e implementación de un sistema automatizado y para la adquisición de imágenes en el microscopio.

5. SEGUIMIENTO O MEJORA

5.1. Análisis y revisión del plan de mantenimiento actual

Diseñando un plan de mantenimiento preventivo-predictivo para microscopios de comparación forense, podrán obtenerse beneficios como mejoras en los procesos de mantenimiento, mayor control de mantenimiento, mejora de la productividad y prolongación de la conservación de los equipos, siendo estos dos últimos los de mayor interés y énfasis en el presente trabajo.

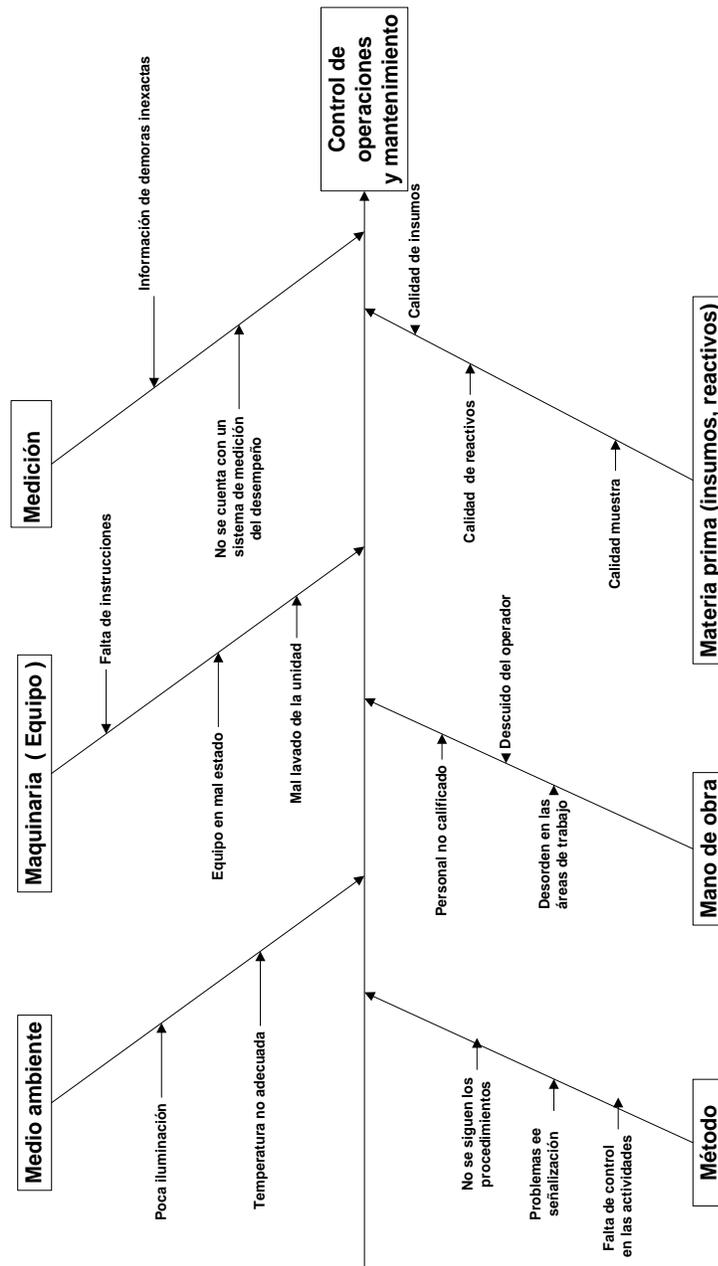
5.2. Desarrollo de diagramas de análisis

Para el desarrollo de los diagramas se consideran diferentes variables de análisis, siendo estas, el tiempo de uso de los equipos, el número de fallas repetitivas y sus posibles causas, el nivel de preparación del personal a cargo de utilizar dichos equipos, el ambiente interno y control de partículas contaminantes, los repuestos sustituidos y su garantía de procedencia.

5.2.1. Diagrama Ishikawa

Con el fin de analizar en mayor detalle en qué parte del proceso de operaciones se están generando los problemas; con apoyo del encargado de supervisión de los equipos del laboratorio y usuarios se propuso generar una lluvia de ideas con el fin de conocer los motivos de las no conformidades detectadas y su influencia en el proceso, de tal forma que se pueda buscar, identificar y analizar las causas principales que provocan el problema de operación y mantenimiento del laboratorio.

Figura 28.
Diagrama Ishikawa



Nota. El diagrama representa de forma gráfica las fuentes o problemas de errores dentro de INACIF. Elaboración propia, realizado con Excel.

Luego de asignar valor a determinada causa se puede obtener una variante específica en el diagrama Ishikawa, será relevante en el uso de la herramienta, lograr que el resultado porcentual no supere el 80 %.

$$C = (1 - V_n/V_t) * 100$$

Dónde:

C se reconoce así al nivel de concordancia en porcentaje

V_n: la participación de expertos contra el criterio que fue predominante

V_t: participación total de los expertos

Si se alcanza C = 60 % es tolerable, alcanzando buen nivel en el consenso

Tabla 15.

Ponderación de causas que provocan las inconformidades

Motivos	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Total	C porcentaje
Falta de control de mantenimiento	1	2	1	1	1	6	80
No cumple con los procedimientos	2	1	2	3	2	10	60
Poca iluminación	4	3	3	5	3	18	60
Descuido del usuario	3	4	4	4	4	19	80
Personal no calificado	5	5	6	2	5	23	60
Calidad de insumos	6	8	5	6	6	31	60
Instrumentos en mal estado	7	6	7	9	7	36	60
Paradas frecuentes	8	7	8	8	8	39	80
Limpieza de la unidad	9	9	9	7	9	43	80
Temperatura no adecuada	11	11	10	11	11	54	80
Problemas de plan de mantenimiento	10	10	11	10	10	51	80
TOTAL	66	66	66	66	66	330	

Nota. Los datos expuestos muestran los números de veces que se repiten los eventos en un tiempo t determinado. Elaboración propia, realizado con Word.

5.2.2. Diagrama causa y efecto

Se emplea para analizar las causas y factores que pudieron afectar el programa de mantenimiento hacia los equipos, se obtienen datos de los auxiliares de laboratorio y su supervisor.

Tabla 16.

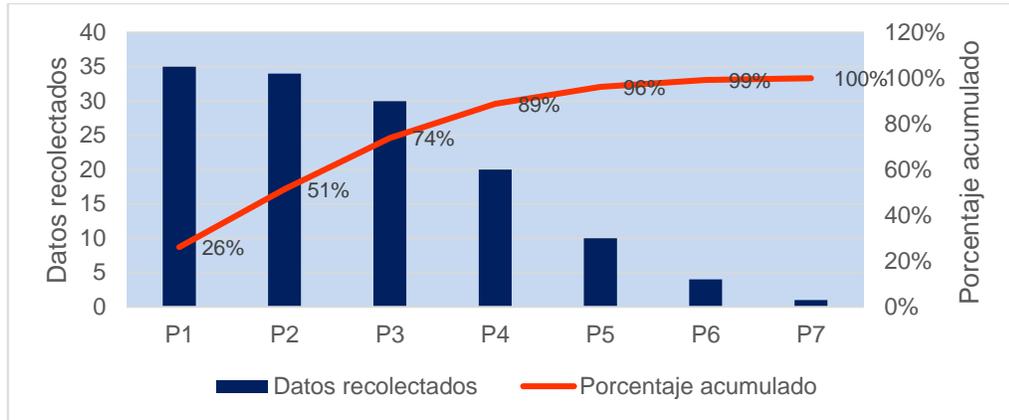
Análisis de Pareto de causas que provocan las inconformidades

	Posición real (Causas y datos ordenados)	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado	
1	Registro de control de mantenimientos realizados	35	35	26 %	26 %
2	Equipos que fueron limpiados	34	69	25 %	51 %
3	Procedimientos que no se realizaron.	30	99	22 %	74 %
4	Defectos y defectos en materiales.	20	119	15 %	89 %
5	Ausencia de supervisión.	10	129	7 %	96 %
6	Programación inconclusa en mantenimientos preventivos.	4	133	3 %	99 %
7	Ineficiencias en herramientas	1	134	1 %	100 %

Nota. La tabla anterior muestra los datos obtenidos de las observaciones de fallas continuas y presentes en INACIF. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 29.

Gráfica de Pareto de causas que provocan las inconformidades



Nota. Presentación de Gráfica del diagrama de Pareto. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la gráfica anterior se puede analizar el factor de incidencia que representa el fortalecimiento en el control de los programas de mantenimiento.

5.3. Análisis estadístico

Se debe observar la disponibilidad del tiempo necesario para realizar las actividades relacionadas al mantenimiento, dentro del propio análisis es prescindible incorporar los paros planificados con el tiempo necesario para esa actividad, el tiempo disponible permitirá al personal de mantenimiento programar las diferentes actividades involucradas para el monitoreo de los equipos y las acciones preventivas, todos los datos que se generan a través de las actividades se deberán anotar en bitácoras, posterior a eso se puede desarrollar el estudio estadístico con los análisis sobre el aprovechamiento de los recursos disponibles o fallas que pueden minimizarse.

Tabla 17.*Disponibilidad del equipo*

Tiempo total(min)	A	720
Tiempo de paros planeados(min)	B	115
Tiempo disponible(min)	C= A - B	605
Tiempo de paros no planeados(min)	D	180
Tiempo de operación(min)	E= C-D	425
Índice de disponibilidad	F=E/C	0.70

Nota. Descripción de la disponibilidad de equipo en el laboratorio. Elaboración propia, realizado con Excel.

5.4. Interpretación de resultados

El analista responsable del procesamiento de esos valores deberá procesar la información captada, los resultados de ciertas operaciones aritméticas, se pretende así, demostrar el valor de tasa de falla, se puede representar en porcentaje del total de las fallas ocurridas, eso se operaría sobre el total de fallas observadas sobre un periodo de tiempo determinado.

Tabla 18.*Datos de falla de los equipos*

Días de Falla	Rank	Median Ranks	1/(1-Median Rank)	ln(ln(1/(1-Median Rank)))	ln(hora de falla)
2	1	0.074	1.08045977	-2.558940818	0.693147181
7	2	0.181	1.220779221	-1.611994375	1.945910149
14	3	0.287	1.402985075	-1.082929422	2.63905733
22	4	0.394	1.649122807	-0.69266027	3.091042453
24	5	0.500	2	-0.366512921	3.17805383
25	6	0.606	2.540540541	-0.070018179	3.218875825
26	7	0.713	3.481481481	0.221107814	3.258096538
30	8	0.819	5.529411765	0.536540994	3.401197382
31	9	0.926	13.42857143	0.954505028	3.433987204

Nota. Se muestran los rangos de las fallas que presentan los equipos de acuerdo con cantidad de días que fallan al mes. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 19.

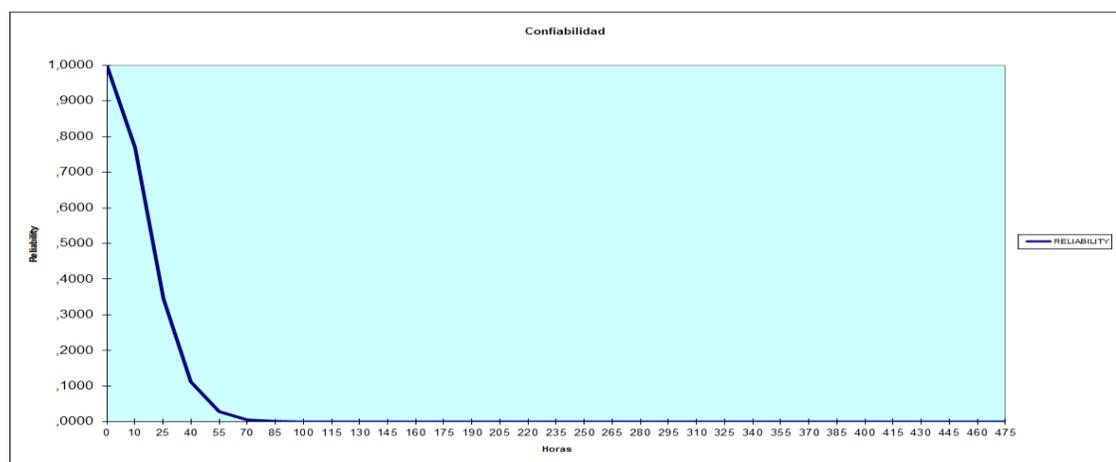
Cálculo de confiabilidad

		Tiempo	Probabilidad falla	Fiabilidad
Beta (parámetro pendiente) =	1.53	0	.0000	1.0000
Eta (Característica vida) =	24.00	100	.9999	.0001
MTBF (horas)=	21.62	200	1.0000	.0000
		300	1.0000	.0000
		500	1.0000	.0000
		900	1.0000	.0000
		1.200	1.0000	.0000
		3.000	1.0000	.0000
		8.760	1.0000	.0000
		15.000	1.0000	.0000
		Fiabilidad	horas	FFI
		0.01	65	42.8
		0.1	41	38.9
		0.5	19	21.6
		0.9	6	4.3
		0.99	1	.4
		0.999	0	.0

Nota. Tabla de cálculo de confiabilidad de los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 30.

Confiabilidad del equipo



Nota. Gráfica de cálculo de confiabilidad del microscopio. Elaboración propia, realizado con Excel.

De la gráfica anterior se entiende que sus índices de confiabilidad, uso del equipo y actividades de ejecución son deficientes, es necesario incorporar acciones correctivas en el departamento responsable de los mantenimientos en el INACIF, de tal forma que se puedan incorporar ciertas actividades y acciones preventivas sobre los procedimientos ya constituidos en los mantenimientos, el objetivo principal de las actividades preventivas es garantizar la continuidad de operaciones y preservar el tiempo de vida útil de los equipos. Para INACIF es importante incrementar sus porcentajes de confiabilidad, actualmente se encuentran debajo de un 30 % esperando alcanzar el 60 %. Estos valores deficientes demuestran que el conjunto de tareas, actividades y acciones relacionadas a su programa de mantenimiento son deficientes.

5.5. Diseño del plan de mantenimiento preventivo-predictivo para los microscopios de comparación forense

Para el seguimiento ideal, se presentan diferentes actividades y acciones que permitirán garantizar la continuidad de sus operaciones, al igual que la preservación del tiempo de vida los equipos.

Tabla 20.

Plan de mantenimiento del microscopio

ENTIDAD	DEPARTAMENTO
Objetivo	Proponer un plan de mantenimiento para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF
Actividades periódicas esenciales para mantener la operación y continuidad del funcionamiento del microscopio de comparación forense	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el ajuste de las platinas. Debe desplazarse suavemente, sobre las direcciones de un plano "X-Y" y mantener la posición que seleccione el usuario del microscopio. • Verificar el ajuste de los elementos de enfoque. El enfoque seleccionado por el usuario debe mantener y no variar su posición. • Comprobar el funcionamiento del diafragma del lente. • Limpiar y lubricar todos las superficies y componentes mecánicos del microscopio de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. • Confirmar funcionamiento del portaobjetos. • Verifica que los lentes estén alineados ópticamente.

Continuación de la tabla 20.

ENTIDAD	DEPARTAMENTO
Cuidados y precauciones	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar utilizar en los elementos ópticos agentes químicos que puedan afectarlos y causar daños. Utilizar materiales apropiados según el caso y especificaciones del fabricante. • Utilizar material destinado para la limpieza de los lentes, utilizar materiales que no rayen ni dañen los lentes. • No tocar oculares y los lentes con los dedos, evitando manchas y rayaduras. • No utilizar cualquier material que no sea destinado para la limpieza de los de los lentes de oculares u objetivos ni el interior de estos, estos pueden dañar los elementos ópticos y podrían deteriorarse. Limpiar estas superficies con un pincel o una pera de soplar aire. • No dejar el microscopio sin los oculares instalados. Si fuera necesario debe instalar taponés para evitar el ingreso de polvo o partículas a la cabeza binocular. • No instalar o almacenar el microscopio en ambientes con humedad. • Procure no presionar los objetivos contra las Placas o el lente frontal del objetivo. • Debe calibrar el microscopio de forma lenta y cuidadosa. • Mantener limpias las platinas y portaobjetos.
Precauciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • No desensamblar los componentes ópticos, pues se pueden producir desalineamientos. Las superficies ópticas deben limpiarse en primera instancia con un pincel de pelo de camello; a continuación, con gamuza o papel especial para lentes. • Utilizar las dos manos para levantar el microscopio. Con una mano sostenerlo por el brazo, y con la otra sostener su base. • Evitar tocar con los dedos la superficie de la bombilla cuando se la cambia. Las huellas digitales disminuyen la intensidad lumínica. • Verificar que el voltaje de alimentación es el correcto para prolongar la vida útil de la bombilla; siempre que sea posible, utilizar la menor intensidad luminosa que resulte útil para realizar las observaciones. • Conectar el microscopio a través de un estabilizador de voltaje, si el voltaje de alimentación no es estable.
Remoción de la película de hongos	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar y limpiar de manera periódica el microscopio, utilizando los procedimientos de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Controlar las condiciones de humedad donde se usa y almacena el microscopio. Al mantener una ventilación adecuada, se disminuye la posibilidad de la formación de hongos en el microscopio. • Si se detecta un crecimiento de hongos, debe utilizar un material de limpieza de lentes oculares junto a una solución limpiadora de hongos que normalmente es éter o xilol. Frotar suavemente siguiendo un movimiento circular, a lo largo de toda la superficie del lente. De otra manera se puede realizar también un movimiento oscilatorio, ejerciendo sobre la superficie del lente una presión muy moderada. Si es necesario, repetir el procedimiento con una nueva mota de algodón. • Cuando se termine la remoción de la película de hongos, limpiar con una mota de algodón limpio.

Continuación de la tabla 20.

ENTIDAD	DEPARTAMENTO
Cuidado del microscopio con frecuencia diaria luego de ser utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar el aceite de inmersión del objetivo 100X. Usar papel para limpieza de lentes o en su defecto algodón tipo medicinal. • Limpiar el carro porta muestras. • Limpiar el condensador. • Colocar el reóstato de control de intensidad luminosa en la posición mínima y luego apagar completamente el sistema de iluminación. • Cubrir el microscopio con una funda protectora –plástica o de tela–. Asegurar que queda ubicado en un lugar bien ventilado, en el cual estén controlados la humedad y la temperatura. Si se dispone de caja de almacenamiento ventilada dotada con bombillo
Cuidado del microscopio con frecuencia diaria luego de ser utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar el aceite de inmersión del objetivo 100X. Usar papel para limpieza de lentes o en su defecto algodón tipo medicinal. • Limpiar el carro porta muestras. • Limpiar el condensador. • Colocar el reóstato de control de intensidad luminosa en la posición mínima y luego apagar completamente el sistema de iluminación. • Cubrir el microscopio con una funda protectora –plástica o de tela. Asegurar que queda ubicado en un lugar bien ventilado, en el cual estén controlados la humedad y la temperatura. Si se dispone de caja de almacenamiento ventilada dotada con bombillo.
Cuidado del microscopio, se realiza una vez al mes	<ul style="list-style-type: none"> • Remover las partículas de polvo que pueda tener el cuerpo del microscopio. Usar una pieza de tela humedecida con agua destilada. • Retirar las partículas de polvo de los oculares, objetivos y del condensador. Utilizar la pera para soplar aire. A continuación, limpiar la superficie de los lentes con solución limpiadora de lentes. No aplicar directamente esta solución a los lentes, sino en papel para limpiar lentes y luego frotar suavemente la superficie de los mismos con el papel mencionado. • Retirar el mecanismo de sujeción de las placas porta muestras; limpiar cuidadosamente y reinstalar.
Cuidado del microscopio, se realiza una vez cada seis meses	<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar una inspección visual general del microscopio. Verificar que cada componente se encuentre en buen estado, esté limpio y esté bien ajustado mecánicamente. • Verificar que en el lugar de instalación se conserven las condiciones de buena ventilación, control de humedad y temperatura. • Comprobar la calidad del sistema eléctrico que alimenta el microscopio. Verificar la integridad de los conectores, los fusibles y la lámpara incandescente.

Nota. Presentación de las actividades, acciones y cuidados que presenta el plan de mantenimiento del microscopio de forma detallada. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 21.*Sistema mecánico*

Problema	Causa probable	Solución
La plataforma porta muestras no mantiene su posición y la imagen se desenfoca continuamente.	La tensión de ajuste de la plataforma porta muestras está flojo	Ajustar el mecanismo de tensión de la plataforma.
La plataforma porta muestras no puede ser levantada a su límite superior	La plataforma mecánica está bloqueada muy bajo.	Aflojar el mecanismo de bloqueo de la plataforma. Ajustar a la altura deseada. Reajustar el mecanismo de bloqueo

Nota. Descripción del sistema mecánico del microscopio. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 22.*Sistema óptico*

Problema	Causa probable	Solución
Deficiencia en calidad de la imagen que se visualiza en el objetivo	Lentes sucios, rayados o con agentes de organismos eucariotas.	Remover los organismos hongos mediante sustancia para limpieza de estos. Seguir la sugerencia de fabricante
	Lentes con fisura, daño o fractura	Verificar si el objetivo y los lentes presentan rayones, picaduras. De ser necesario debe sustituir el objetivo o los lentes.
	Líquidos o lubricantes en los lentes	Remover con sumo cuidado el fluido con material para limpieza de lentes
La imagen proyectada por el objetivo de inmersión no es clara	Objetivo se está usando sin aceite de inmersión.	Utilizar aceite de inmersión.
	El aceite de inmersión es utilizado es baja calidad.	Reemplace el aceite por uno de buena calidad.
	La parte interior del objetivo ha sido irrumpida por el aceite de inmersión	Limpiar los lentes con material para limpieza de lentes. En caso de que la limpieza externa no solucione, enviar el objetivo a un laboratorio especializado. Deberá desensamblar los lentes, limpiar, cambiar los retenedores y realinear.
Partículas de polvo o suciedad visible en el área de Visión.	El polvo a invadido el lente colector de la fuente luminaria.	Evacuar las partículas de polvo con una brocha pincel o aire comprimido.
	Polvo sobre el lente superior	Evacuar las partículas de polvo con una brocha pincel o aire comprimido.
	Existe polvo en el ocular.	Evacuar las partículas de polvo con una brocha pincel o aire comprimido.

Nota. Descripción del sistema óptico del microscopio. Elaboración propia, realizado con Word.

De la misma manera que la propuesta de plan de mantenimiento la contribución de este diseño se propone para los nueve equipos con los que cuenta el Laboratorio de Balística los cuales sus características según marca y modelo son:

- Marca Leica, modelo FS C
- Marca Leica, modelo FS M
- Marca Projectina, modelo UCM
- Marca Leica, modelo K2700
- Marca Reichert, modelo K2700F
- Marca Leica, modelo DMC (de este modelo se encuentran cuatro unidades con lo que se contabilizan nueve equipos).

Se parte del supuesto de que los microscopios requieren actividades y procedimientos genéricos de mantenimiento, considerando que la cantidad, marca y modelo pueden variar debido a que los equipos pueden ser reemplazados o declararse obsoletos de forma indefinida.

5.6. Hojas de paros

Se presenta el diseño que podría optimizar el control de los paros programados y no programados.

Tabla 23.*Control de paros programados y no programados*

Entidad				Analista
Fecha				Procedimiento
Equipo	Procedimiento	Paro programado	Paro no programado	Horas estimadas
Microscopio	Desmontaje integral, (cabezal porta oculares, objetivos, prisma, filtros)			
	Falla del sistema óptico (oculares, objetivos, prisma)			
	Verificación del sistema de iluminación y filtros de luz			
	Verificación de los conectores internos y el sistema eléctrico			
	Armado de las unidades, pruebas de seguridad eléctrica y operatividad			
Supervisa		Autoriza		Observaciones

Nota. Formato propuesto para realizar actividades de mantenimiento previamente programadas. Elaboración propia, realizado con Excel.

5.7. Bitácoras de control

El modelo para las ordenes de trabajo cuenta con: un membrete para identificar el documento y el lugar de trabajo, espacio para colocar los datos de la solicitud de servicio de mantenimiento que le dio origen, así como una breve descripción sobre el servicio brindado, el cual incluye la descripción de los recursos empleados, esto permitirá tener un registro de las bitácoras de servicio.

Tabla 24.

Orden de trabajo

Entidad		Departamento		Logo	
LABORATORIO					
Tipo de servicio		Urgente	Normal		
Unidad	Tipo de mantenimiento correctivo-preventivo				
Código del equipo	Nombre del equipo	Orden de trabajo	Observaciones	Repuestos/ insumos	Hora de inicio-finalización

Nota. Modelo de bitácora de trabajo. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Análisis de costo-beneficio

Partiendo de la necesidad perenne que todo departamento de Mantenimiento, para preservar los activos de su institución, la implementación de un plan de mantenimiento para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística permitirá cubrir esta necesidad.

- Costos

El INACIF mediante su Sistema de Gestión de Calidad puede gestionar las actividades necesarias para lograr este objetivo, así mismo dispone de la Unidad de Gestión de Acreditamiento de Calidad (GAC), la cual tiene personal calificado y apto para realizar un plan de esta naturaleza, velando se cumplan con los protocolos y requisitos mínimos de calidad. Considerando que el personal de GAC ya cumple dichas funciones, que están dentro de sus atribuciones laborales y facultades, además, partiendo de la primicia del presente trabajo, que puede utilizarse como base para el plan de mantenimiento, todo ello no presentará un costo adicional para la implementación del *Plan de mantenimiento preventivo-predictivo para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF*.

Se debe destacar que la Unidad de Mantenimiento de Equipos y Servicios del Departamento Técnico Científico del INACIF, también dispone de personal a cargo de velar por el mantenimiento de los microscopios y de la programación de estos servicios, personal y funciones que no representaran un costo extra al ya estipulado. Sin embargo los costos a tomar en cuenta son la contratación del servicio de mantenimiento por entidad externa que según Contrato Administrativo Siete Guión Dos Mil Diecisiete Guión Asesoría Técnica Jurídica (Ca 7-2017-Atj) para la adquisición del Servicio de Mantenimiento Preventivo para equipos de

microscopía de los Laboratorios de Criminalística del Instituto Nacional de Ciencia Forenses (INACIF, 2006), se asigna un monto de Q 53,386.70 para el servicio de mantenimiento de los equipos de microscopia del Laboratorio de Balística que puede variar de acuerdo las cláusulas estipuladas al momento de contratar la prestación de dicho servicio.

- Beneficios

Reducción de tiempos implementados en reparaciones no programadas, ajustes y cambios de repuestos antes de alcanzar la falla de un equipo, reducción de costos por realización de mantenimientos preventivos y no mantenimiento correctivos (cuyo costo es más elevado), reducción de costos en repuestos y en accesorios así como la minimización de fallas, son unos de los beneficios que podrán obtenerse al implementar un plan de mantenimiento preventivo-correctivo para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF, el cual deberá evaluarse y realizar modificaciones al momento de implementarse según las necesidades del caso.

CONCLUSIONES

1. El plan de mantenimiento preventivo-predictivo propuesto señala actividades mínimas y específicas cuya aplicabilidad permitirán mantener a disposición de uso los microscopios de comparación forense. Las fallas que presentan los equipos se dan por diferentes razones, entre ellas los descuidos del operador responsable, las condiciones de trabajo, además de la falta de revisión e inspección periódica de los sistemas de operación y mantenimiento.
2. Los paros no programados pueden provocar fallas inesperadas en los microscopios de comparación forense. Según la gráfica de Pareto existe la probabilidad de un 26 % de omisión en los registros de control, este margen puede ocasionar los mismos paros no programados, por ello debe reducirse las omisiones de estos registros que beneficiaran la minimización de fallas en los equipos microscópicos.
3. El empleo del plan de mantenimiento propuesto podrá obtenerse beneficios a corto y mediano plazo como el uso y continuidad de registros y ordenes de trabajo, mejoras administrativas y reducción de fallas inesperadas, pudiendo mejorar el índice de credibilidad y ejecución a las evaluaciones que están sujetos los equipos.
4. Realizar el proceso de mantenimiento preventivo adecuado beneficiará a los equipos en el tiempo de vida promedio de los mismos y con su respectivo mantenimiento correctivo se mantendrán a disposición, aumentando su vida útil.

5. El plan de mantenimiento propuesto se basa en los rangos de operación de los microscopios de comparación forense y los diferentes modelos de equipos que tiene a disposición el Laboratorio de Balística, el mismo permite mantener a disposición los equipos permitiendo su buen funcionamiento.
6. El plan de mantenimiento preventivo-predictivo para los microscopios de comparación forense del Laboratorio de Balística del INACIF propone actividades basadas en inspecciones rutinarias, apegadas a los manuales de los fabricantes, así mismo deberán ser supervisadas por el departamento a cargo de los mantenimientos de los microscopios.
7. La propuesta de plan de mantenimiento expone buenas prácticas de mantenimiento y operación de los microscopios de comparación forense, así mismo como el control de las actividades mínimas y específicas a realizar, que permitirán preservar los equipos disminuyendo su deterioro.
8. Las hojas de control o bitácoras para el control de mantenimiento preventivo y predictivo, darán a conocer el registro de las actividades realizadas, fallas reportadas, incidentes o cualquier tipo de anomalía que represente un daño al equipo.

RECOMENDACIONES

1. Habituar el programa de mantenimiento preventivo-correctivo con el personal del INACIF, para demostrarles cuáles serán los alcances y mejoras esperadas de esta propuesta, incrementando los niveles de producción y reducción de costos.
2. Capacitar al personal involucrado con los microscopios de comparación forense, para el uso y mantenimiento de los equipos adoptando las nuevas bitácoras de supervisión propuestas y diseñadas para el INACIF que cumplen con los requisitos del fabricante y la información relevante hacia la institución.
3. Evaluar los resultados y beneficios de implementar la propuesta de plan de mantenimiento preventivo-correctivo en periodos de 3 años, el mismo puede mejorarse mediante el análisis de cada evaluación.
4. Realizar el servicio de mantenimiento de manera integral, involucrando la parte mecánica, ocular, electrónica y computarizada que forman parte de los equipos de comparación forense de los laboratorios de balística.
5. Mejorar las técnicas actuales establecidas por el departamento de Mantenimiento, que permitan validar cada uno de los nuevos procesos conforme el manual del usuario de cada equipo, además se considera adoptar como base de los programas futuros la información primaria que se otorga por el proveedor al comprar un equipo nuevo.

6. Supervisar y evaluar las prácticas y metodología utilizada durante las actividades de mantenimiento, con ello podrá exponerse a los usuarios el cuidado y manera adecuada del uso de los microscopios de comparación forense.
7. Inspeccionar el registro en las bitácoras propuestas, se podrá crear un archivo histórico que permita evaluar la temporalidad de uso versus beneficios obtenidos desde el momento que se pueda incorporar las mejoras al plan de mantenimiento preventivo-correctivo.
8. Manejar y controlar las bitácoras propuestas podrán mejorar los niveles de productividad esperados por el INACIF, de esa forma su imagen pública podrá ser evaluado de mejor manera y demostrar que sus actividades especializadas son realizadas en los tiempos esperados conforme a análisis precisos sin sesgo por problemas técnicos o administrativo.

REFERENCIAS

BIO-OPTIC. (s.f.). *Excelencia tecnológica y calidad de servicio*. BIO-OPTIC.
https://www.bio-optic.com/en_US

Gamarra, G. (2017). La justicia en manos de la ciencia, nociones de identificación en microscopía balística. *Revista SKOPEIN*, 4, 1-61.
[https://www.academia.edu/27704325/Revista Skopein N 4 - Junio 2014](https://www.academia.edu/27704325/Revista_Skopein_N_4_-_Junio_2014)

Guzmán, C. (2018). *Breve historia de la balística forense*. Foro de Seguridad.
<https://www.gestiondelriesgo.com/artic/discipl/4203.htm>

INACIF (2006). *Clínica forense*.
<https://www.inacif.gob.gt/index.php/servicios/nuestros-servicios>

INACIF (2018). *Microscopio de comparación forense, manual*. Leica Microsystems.

INACIF (2023). *Abordan aspectos de la violencia sexual*.
<https://www.inacif.gob.gt>

LEICA. (2019). *Cámaras de microscopía*. <https://www.leica-microsystems.com/es/productos/camaras-de-microscopia/>

Microscopio Electrónico. (s.f.). *microscopio molecular*.
<https://microscopioelectronico.com/microscopio-monocular/>

Mundo Microscopio. (2023). *Historia del microscopio*. Mundo Microscopio.

<https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>

Pax-it. (2022). *Cámara digital USB 2.0 para microscopio*. Pax-it.

<https://www.paxit.com/camara-digital-usb-2-0-para-microscopio/>

Real Academia Española (Madrid). Cultura. *Diccionario de la lengua española*.

Recuperado el 07 de julio de 2022 de <https://dle.rae.es/cultura?m=form>

Solé, A. (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración*. Alfaomega.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Resultados

La investigación y desarrollo del presente trabajo permitió plantear una propuesta de plan de mantenimiento preventivo-predictivo, el cual presenta actividades que pretenden minimizar las fallas y preservar los microscopios de comparación forense estas mismas de acuerdo a su naturaleza puede realizarse de manera periódica cuyo rango podría ser semanal, mensual, trimestral o semestral, y que deben ser analizadas por el departamento a cargo de los mantenimientos.

Se detectó que existen actividades que pueden ser realizadas por los operarios de los microscopios y se recomienda capacitar e inducir a los usuarios en las buenas prácticas de operación y uso de los microscopios de comparación forense, en este sentido es importante que el departamento a cargo de los mantenimientos de los equipos analice el asignar a un encargado interino de estas y otras actividades de acuerdo los parámetros previamente establecidos. Es importante que este departamento evalúe y estudie los parámetros de mantenimiento a microscopios de comparación forense que establecen las entidades interesadas y que participen en los eventos de licitación de este servicio.

La programación de mantenimiento preventivo-predictivo de los microscopios de comparación forense permitirá llevar un control de los estados de los equipos y crear un historial de reparaciones, calibraciones y paros de los equipos, así mismo podrán detectarse las fallas más comunes y reincidentes que afectan los equipos aumentando su productividad en la reducción de estas.

Nota. Presentación de los resultados obtenidos en la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

