

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE**  
**BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL EQUIPO**  
**ELECTROMECAÁNICO DEL LABORATORIO DE FLUJO DE AGUA DEL INSTITUTO**  
**COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS”**

**Daniel Murillo Borges**

**AUTOR**

**Ing. Carlos Arturo Calderón Borge**

**TUTOR**

**SEDE CENTRAL**

**DICIEMBRE, 2023**

## Tabla de Contenido.

Índice de Figuras .....	6
Índice de Tablas. ....	7
Índice de Ecuaciones .....	8
Índice de Apéndices .....	8
Agradecimientos.....	10
Resumen .....	11
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.2 Planteamiento del Problema.....	12
1.3 Objetivos .....	12
1.3.2 Objetivo General .....	12
1.3.3 Objetivos Específicos .....	12
1.4 Justificación.....	13
1.5 Antecedentes .....	14
1.5.2 Antecedentes Internacionales .....	14
1.5.3 Antecedentes Nacionales.....	20
1.6 Limitaciones .....	26
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
2.2 Mantenimiento .....	28
2.3 Evolución del mantenimiento.....	30
2.4 Tipos de mantenimiento .....	32
2.5 Mantenimiento correctivo .....	34
2.6 Mantenimiento preventivo .....	34
2.7 Administración del Mantenimiento Industrial .....	35
2.8 Desgaste normal .....	35

2.9	Desgaste anormal .....	35
2.10	Desgaste accidental .....	36
2.11	Estrategias .....	36
2.12	Análisis de equipos.....	36
2.13	Listado de equipos.....	36
2.14	Estructuras arbóreas .....	38
2.15	Planta.....	38
2.16	Área .....	39
2.17	Equipo .....	39
2.18	Sistema .....	39
2.19	Elemento.....	39
2.20	Codificación de equipos .....	39
2.21	Sistemas de codificación no significativos.....	39
2.22	Sistemas de codificación significativos o inteligentes .....	39
2.23	Modelos de mantenimiento .....	40
2.24	Modelo correctivo .....	41
2.25	Modelo condicional.....	41
2.26	Modelo sistemático .....	42
2.27	Modelo de alta disponibilidad.....	42
2.28	Análisis de criticidad.....	43
2.29	Costos del mantenimiento preventivo .....	46
2.30	Planificación del mantenimiento preventivo.....	47
2.31	Análisis de costo-efectividad .....	47
2.32	Tecnologías de monitoreo .....	47
2.33	Mantenimiento basado en la condición.....	47

2.34	Costos de mano de obra .....	48
2.35	Costos de materiales .....	48
2.36	Costos de equipos y herramientas .....	48
2.37	Costos de tiempo de inactividad.....	48
2.38	Gestión de repuestos disponibles .....	48
2.39	Pruebas Volumétricas.....	52
2.40	Equipos de Medición.....	53
2.41	Duración de las actividades.....	55
2.42	Indicadores Financieros.....	57
2.43	Tasa Interna de Retorno .....	58
2.44	Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE).....	60
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		62
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....		64
3.2	Estado actual .....	64
3.2.2	Organigrama operativo.....	64
3.2.3	Actividades del Laboratorio Nacional de Flujo de Agua.....	64
3.2.4	Inventario .....	67
3.3	Desarrollo .....	78
3.3.2	Codificación de equipos .....	78
3.3.3	Análisis de Criticidad .....	83
3.3.4	Rutinas.....	95
3.3.5	Acciones de contingencia.....	110
3.3.6	Gestión de repuestos.....	111
3.3.7	Duración de las actividades.....	113
3.3.8	Cronograma.....	117

3.3.9 Análisis Financiero.....	121
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	128
4.2 Conclusiones .....	128
4.3 Recomendaciones.....	130
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	131
REFERENCIAS .....	132
APÉNDICES Y FIGURAS.....	134

## Índice de Figuras

Figura 1. Elementos del mantenimiento.....	30
Figura 2. Estrategias de mantenimiento. ....	33
Figura 3. Mantenición preventiva .....	35
Figura 4. Ejemplo de tabla para listado de equipos por niveles.....	37
Figura 5. Ejemplo de codificación empleado en el Laboratorio de Flujo de Agua de AyA. ....	37
Figura 6. Ejemplo de la estructura arbórea. ....	38
Figura 7. Ejemplo de codificación alfanumérica significativa.....	40
Figura 8. Esquema resumen sobre modelos de mantenimiento según el nivel de disponibilidad. 40	40
Figura 9. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento correctivo. ....	41
Figura 10. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento condicional.....	41
Figura 11. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento sistemático. ....	42
Figura 12. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento de alta disponibilidad. ....	43
Figura 13. Propuesta para valorar la criticidad de un equipo.....	45
Figura 14. Gráfico de costos del mantenimiento.....	46
Figura 15. Banco de pruebas Ford DN 15 – 20.....	53
Figura 16. Rotámetro Krohne.....	54
Figura 17. Rotámetro Krohne, utilizado en el Laboratorio de Flujo de Agua. ....	55
Figura 18. Organigrama del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. ....	65
Figura 19. Organigrama de funciones del Laboratorio Flujo de Agua. ....	67
Figura 20. Distribución de los componentes en el Banco N°1.....	69
Figura 21. Distribución de los componentes en el Banco N°2.....	71
Figura 22. Distribución de los componentes en el Banco N°4.....	73
Figura 23. Distribución de los componentes en el Banco N°5 (Parte 1).....	74
Figura 24. Distribución de los componentes en el Banco N°5 (Parte 2).....	75
Figura 25. Croquis del Laboratorio de Flujo de Agua y su respectiva distribución. ....	77
Figura 26. Modelo de codificación del Laboratorio de Flujo de Agua. ....	79
Figura 27. Algoritmo de decisión para el análisis de criticidad. ....	85
Figura 28. Cotización con mano de obra TPM .....	124

### **Índice de Tablas.**

Tabla 1. Matriz de conceptualización: Investigación con enfoque cuantitativo. ....	62
Tabla 2. Inventario de la zona de equipo del Banco N°1. ....	68
Tabla 3. Inventario de la zona de equipo del Banco N°2. ....	70
Tabla 4. Inventario de la zona de equipo del Banco N°3. ....	72
Tabla 5. Inventario de la zona de equipo del Banco N°4. ....	72
Tabla 6. Inventario de la zona de equipo del Banco N°5. ....	74
Tabla 7. Inventario de la zona de equipo de apoyo. ....	75
Tabla 8. Abreviatura de los diferentes equipos para la codificación. ....	78
Tabla 9. Codificación de cada equipo. ....	79
Tabla 10. Análisis de criticidad de cada equipo. ....	86
Tabla 11. Nivel de criticidad y frecuencia de mantenimiento. ....	93
Tabla 12. Frecuencia de mantenimiento por análisis de criticidad. ....	93
Tabla 13. Frecuencia de mantenimiento por norma y manual. ....	94
Tabla 14. Lista de repuestos en bodega por cada equipo según necesidad. ....	111
Tabla 15. Duración de la rutina de rotámetros. ....	114
Tabla 16. Duración estimada de cada componente. ....	114
Tabla 17. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°1. ....	115
Tabla 18. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°2. ....	115
Tabla 19. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°3. ....	116
Tabla 20. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°4. ....	116
Tabla 21. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°5. ....	116
Tabla 22. Resumen de duración por cada banco de pruebas. ....	117
Tabla 23. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en los equipos de la zona de apoyo. ....	117
Tabla 24. Cronograma de actividades para el 1er trimestre del 2024. ....	118
Tabla 25. Cronograma de actividades para el 2do trimestre del 2024. ....	119
Tabla 26. Cronograma de actividades para el 3er trimestre del 2024. ....	119
Tabla 27. Cronograma de actividades para el 4to trimestre del 2024. ....	120
Tabla 28. Resumen de duración actividades por equipos. ....	121
Tabla 29. Desglose del costo de mantenimiento con personal del LFA. ....	123

Tabla 30. Desglose del costo de mantenimiento tercerizado con TPM .....	124
Tabla 31. Desglose del cálculo del CAUE mano de obra LFA.....	126
Tabla 32. Desglose del cálculo del CAUE mano de obra por TPM.....	126

### **Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1. Formula PERT.....	57
Ecuación 2. Fórmula para calcular VAN. ....	57
Ecuación 3. Fórmula para calcular TIR. ....	59
Ecuación 4. Fórmula para calcular CAUE. ....	60

### **Índice de Apéndices**

Apéndice 1. Extracto manual fabricante Termómetro FLUKE. Parte 1 .....	134
Apéndice 2. Extracto manual fabricante Termómetro FLUKE. Parte 2 .....	135
Apéndice 3. Extracto manual fabricante Termómetro FLUKE. Parte 3 .....	136
Apéndice 4. Norma para mantenimiento de aires acondicionados. ....	137
Apéndice 5. Extracto manual fabricante bombas de agua Goulds.....	138
Apéndice 6. Extracto manual fabricante válvula solenoide ASCO. ....	139
Apéndice 7. Extracto manual fabricante válvula neumática Bray. ....	140
Apéndice 8. Extracto manual fabricante compresor PORTER CABLE. Parte 1.....	141
Apéndice 9. Extracto manual fabricante compresor PORTER CABLE. Parte 2.....	142
Apéndice 10. Extracto manual fabricante rotámetros KROHNE. Parte 1 .....	143
Apéndice 11. Extracto manual fabricante rotámetros KROHNE. Parte 2 .....	144
Apéndice 12. Extracto de Norma para comprobación de balanzas.....	145
Apéndice 13. Extracto manual fabricante manómetros WIKA.....	146
Apéndice 14. Respuesta Departamento de TI sobre UPS. ....	147
Apéndice 15. Solicitud para recopilar información de los equipos LFA. ....	148
Apéndice 16. Autorización recopilar información de los equipos LFA. ....	149
Apéndice 17. Instructivo sobre estimación de cargas de trabajo. ....	150
Apéndice 18. Procedimiento sobre manipulación de los ítems de calibración. ....	151
Apéndice 19. Respuesta encargado técnico sobre registro de fallas. ....	152
Apéndice 20. Cotización de herramientas para mantenimiento A/C. ....	153
Apéndice 21. Extracto cotización curso FUNDATEC.....	154

## Dedicatoria

Se lo dedico a las personas que me quieren y me desean lo mejor cada día.

Se lo dedico al Daniel del futuro, porque esto apenas empieza.

### **Agradecimientos**

Primeramente, quiero darle gracias a Dios que me ha permitido terminar esta etapa de estudios con salud, paz, trabajo y alegría mía y de mi familia.

Darle gracias a mi papa Luis Geovanni Murillo León el cual con mucho esfuerzo y sacrificio para que yo pudiera estudiar.

A mi mama, Meysi Borges Guerrero, por apoyarme con las cosas que se salen de mis manos.

A mi hermana, Raquel Murillo.

A todas las personas que componen al Laboratorio Nacional de Flujo de Agua del AyA.

Finamente, a todas las personas que de una u otra manera incidieron en que yo pueda obtener mi título de ingeniería.

Me lo agradezco a mí mismo, por nunca tirar la toalla y que a pesar de todo pude conseguir el objetivo.

## Resumen

Este trabajo final de graduación se basa en tres ejes principales: elaboración, desarrollo y propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos electromecánicos de los bancos de pruebas volumétricas del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (en adelante AyA) que satisfaga las necesidades funcionales de este. La elaboración del plan de mantenimiento es parte esencial, ya que se van a identificar cuáles son los equipos electromecánicos y su nivel de importancia para el funcionamiento del laboratorio, pero también se vuelve sumamente significativo esta propuesta porque la dependencia como tal no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo previo ni tampoco cuenta con un registro de fallas en cual apoyarse.

Por otro lado, llevar a cabo la iniciativa del plan de mantenimiento preventivo es una de las partes más complicadas de este trabajo debido a que como no existe un precedente como tal, por ende, todos los procedimientos y métodos son nuevos en cuanto al funcionamiento del laboratorio. Se desarrollará una propuesta que contemple aspectos como, las actividades realizadas en el laboratorio, una gestión estandarizada de los equipos en cuanto a la codificación de estos, un análisis de criticidad que tome en cuenta las diferentes variables como la seguridad, fiabilidad, etc.

También un cronograma para el año 2024 con una sugerencia de la frecuencia según como se explicará en el desarrollo de este trabajo y por ultimo un análisis financiero comparando la factibilidad de la propuesta, ya sea que se lleve a cabo por los operadores del laboratorio o tercerizar el servicio con una empresa privada, todo esto para generar una propuesta integral que satisfaga la mayor parte de las variables de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos electromecánicos del Laboratorio de Flujo de Agua del AyA.

Una vez completado el desarrollo de este trabajo final de graduación se realizarán las recomendaciones pertinentes para que esta propuesta llegue a buen puerto como también identificar las falencias que existen en esta dependencia del AyA, todo esto con el final de generar una propuesta global que cubra los aspectos propuestos trabajo.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.2 Planteamiento del Problema**

¿Cuál sería el beneficio de implementar un plan de mantenimiento preventivo en la prestación de los servicios que brinda el Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.2 Objetivo General**

Elaborar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para garantizar la prestación de servicios y la mitigación de fallas del equipo electromecánico de los bancos de pruebas volumétricas del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

#### **1.3.3 Objetivos Específicos**

1. Identificar que actividades conllevan el quehacer diario del Laboratorio de Flujo de Agua para un abordaje integral de los diferentes equipos eléctricos y mecánicos que lo componen.
2. Reconocer las necesidades que tiene el Laboratorio de Flujo de Agua en cuanto a la gestión de los equipos electromecánicos para satisfacer tanto la demanda de pruebas volumétricas como también la puesta en marcha del mantenimiento preventivo.
3. Realizar una clasificación de los diferentes equipos que permita una gestión de los activos estandarizada basado en su nivel de criticidad, para un manejo óptimo de los mismo.
4. Generar rutinas de mantenimiento preventivo que permitan atacar las diferentes fallas que se podrían originar de las labores diarias del Laboratorio de Flujo de Agua.
5. Realizar análisis financiero de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para para sustentar la factibilidad de cada una de las opciones para la implementación de este.

#### **1.4 Justificación**

Desde la invención de la primera máquina, surgió consigo la interrogante: ¿Como hacer perdurar este bien? Pues la respuesta fue mantenimiento preventivo. Como bien lo dice su nombre, su función principal es prevenir, y con esto hacer que los diferentes artefactos que hoy son parte esencial de la realidad humana tengan una vida útil más larga. Pero como es bien sabido por todos, hay muchos aspectos que componen dicha realidad que son de mayor importancia, un ejemplo de esto sería el acceso que deben tener todas las personas al agua.

Dado lo anterior, en Costa Rica existe una entidad dedicada a la producción, distribución, saneamiento y tratamiento del agua, y esta es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Dada la magnitud de esta empresa pública, la misma debe poseer los mecanismos para asegurar el acceso y la seguridad del agua, por lo tanto, dentro de este instituto existe un departamento llamado Laboratorio de Flujo de Agua. Este tiene como función atender los diferentes reclamos con respecto a uno de los elementos vitales de esta institución, el hidrómetro.

A pesar de que es otro elemento en todo el engranaje de esta entidad, tiene una función importante, es el encargado de generar los ingresos de la institución, ya que gracias a este aparato se puede determinar cuanta fue el agua consumida por un cliente. Explicando lo anterior se puede ver que se llegará a un punto donde el Laboratorio de Flujo de Agua y el mantenimiento preventivo se encuentran: la continuidad de la prestación del servicio.

Dadas las funciones que tiene este departamento y su importancia antes mencionada, es de suma importancia implementar todos aquellos elementos que procuren la continuidad, seguridad, calidad y estabilidad del servicio de pruebas volumétricas por reclamo que este laboratorio le brinda al Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados. Por lo tanto, es de suma importancia la elaboración de una propuesta de un plan integral de mantenimiento preventivo que le permita a la dependencia cumplir, con los objetivos antes mencionado.

## 1.5 Antecedentes

### 1.5.2 Antecedentes Internacionales

#### Antecedente No.1

**-Título:** Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos del laboratorio de máquinas y herramientas de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomás, Sede Principal.

**-Autor:** Brayan Andrés Santafé García

**-Institución:** Universidad Santo Tomás, Sede Principal, Bogotá, Colombia.

**Año:** 2021

En esta tesis se propone un plan de mantenimiento de equipos que conforman los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, Sede Principal, Bogotá, Colombia. En trabajo final de graduación hay similitudes que pueden aportar a esta propuesta de plan de mantenimiento, por otra parte hay propuestas interesantes con respecto a la gestión del mantenimiento por ejemplo, el autor propone que haya una alimentación semestral de información por parte del personal encargado del mantenimiento para llevar un registro de fallas, propone la idea de que en primera instancia las rutinas efectuadas en el laboratorio sean del tipo preventivo, luego de aplicar las rutinas predeterminadas, se pasa a un ámbito correctivo, si las hay, la definición del plazo se debe a que por necesidad del laboratorio solo se puede efectuar las llamadas “paradas” de los equipos cuando los estudiantes están en periodo de vacaciones.

Otra similitud que existe es que la meta ultima de este mantenimiento es preservar en operación durante la mayor cantidad de tiempo posible, debido a que la meta no es la producción de un producto como tal, sino más bien el acceso a los laboratorios y a la vez satisfacer las necesidades educativas de la facultad de ingeniería de esta universidad, es decir comparten que su meta no es maximizar ganancia, como en las empresas privadas y esta característica también trae a colación el hecho de que los equipos tienen horarios de trabajos más ligeros con respecto a la producción industrial como es el caso del trabajo final de graduación en cuestión.

Por otro lado, también existe la similitud de que, tal como lo explica el autor en su tesis, hay equipos que, si tienen fichas técnicas de los fabricantes, pero hay otras que por su antigüedad no tienen dicho manual o ficha, por ende, se emplean otros tipos de recursos para así sufragar esta

necesidad, por lo cual también se registra la operación del equipo con la rutina propuesta para así determinar las mejores prácticas para cumplir el cometido del plan de mantenimiento.

Como el espacio es un laboratorio, se habla de que tipo de persona es la encargada de la operación de los equipos y por ende es un aspecto importante en la determinación de las rutinas para cada equipo, ya que no es lo mismo un turno utilizado por operarios capacitados que por estudiantes de la facultad, por otro lado explica la importancia de los espacios necesarios para el desarrollo de las clases es decir, áreas seguras permiten mantener el espacio de trabajo ideal y con ello, el espacio necesario para que los estudiantes operen los equipos dispuestos para sus prácticas.

### **Antecedente No.2**

- **Título:** Diseño de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a instrumentos no automáticos de pesaje en los laboratorios de la Universidad del Atlántico
- **Autores:** Norberto José Rodríguez-Medina, Albeiro Javier Fernández-Moreno, Cristian Antonio Pedraza-Yepes y José Daniel Hernández-Vásquez
- **Institución:** Universidad del Atlántico, Colombia y Universidad Antonio Nariño, Colombia
- **Año:** 2021

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a instrumentos no automáticos de pesaje en los laboratorios de la Universidad del Atlántico, tiene particularidades que ayudan a la elaboración de este trabajo final de graduación, en primera instancia el diseño explica la aplicación de estos instrumentos no automáticos de pesaje, en otras palabras balanzas no electrónicas, se trata de una aplicación en el ámbito de la nutrición, pero introducen conceptos interesantes como lo son incertidumbre, calibración, tolerancia, intervalos, y demás que tienen relación directa con el ámbito de la medición de masa. Parte importante de los procedimientos establecidos en el laboratorio de flujo de agua.

Dan a conocer cuatro métodos para calcular el intervalo de calibración de los instrumentos no automáticos de pesaje (balanzas) los cuales son: Schumacher, Drift, Weighted y Poisson; siendo este último el escogido para seleccionar el intervalo que fue de 322 días. Es importante ya que debe haber un equilibrio entre un desempeño óptimo del equipo de medición, en este caso la masa de las personas en el laboratorio de medición y por otra parte el gasto que conlleva la calibración de los diferentes instrumentos de medición, debido a que en ocasiones estas calibraciones son por seguir

al pie de la letra normas de calidad internacionales, las cuales brindan un nivel de certificación para dichos equipos, tal y como se desea en el Laboratorio de Flujo de Agua del AyA con respecto a la norma ISO/IEC 17025 es una normativa internacional desarrollada por ISO en la que se establecen los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración para ser certificados.

Ya que como lo mencionan en la investigación:

En 2017 Jing Wang, Qi Zhang y Wei Jiang, notaron que, si el intervalo de calibración es demasiado largo, el riesgo de exceder la tolerancia incrementará; y, por el contrario, si el intervalo es demasiado corto, habrá un desperdicio de los recursos y el uso normal del instrumento se verán afectados. En su investigación que buscaba la optimización de los intervalos de calibración para equipos de prueba automáticos, obtuvieron que los intervalos de calibración para un analizador de señales radio frecuencia es de 14 meses; para un osciloscopio es 15 meses; para un multímetro digital 17 meses, para un generador de ondas arbitrarias 12 meses; para un módulo A/D 7 meses y para un módulo D/A 8 meses.

### **Antecedente No.3**

- **Título:** Estudio de prefactibilidad para la implementación de un laboratorio de metrología acreditado.
- **Autores:** Janes Rodríguez Salazar y Fabiola Saldaña Espinoza
- **Institución:** Universidad de Piura, Perú
- **Año:** 2019

En esta investigación se propone la importancia del buen funcionamiento de un Laboratorio de Calibración de medidores de agua, por lo tanto, se enfoca en la administración operativa del mismo, es decir, la vitalidad de la continuidad del funcionamiento del laboratorio, por ende, mantenimiento, no especifica procedimientos, pero si su importancia. Este trabajo no es del área de ingeniería propiamente, pero se vuelve de importancia por dos puntos en específico, al ser del área de la administración de empresas, explica y desglosa los costos de los servicios que la empresa en estudio ofrece, dado que se está planeando una posible instalación de un laboratorio de calibración de medidores, por ende debe de tener justificación financiera de todas sus partes, por ende,

también se incluye un apartado de los costos por concepto de mantenimiento, los cuales a pesar de ser en otro país, dan una idea fehaciente de cómo es el procedimiento para la elaboración del análisis financiero.

Y compara como serían los costos por mantenimiento y calibración si fuera dado por una empresa externa o por los mismos operarios a partir de la capacitación de los mismo para realizar las actividades y rutinas de mantenimiento y calibración. Explica también cuál es el proceso para la elaboración de una acreditación y da parámetros para la elaboración de un plan de mantenimiento, debido a que se propone la creación de un departamento de mantenimiento de los equipos para calibración. También a la gestión de la información y como esto puede ser un valor agregado para los clientes del servicio de mantenimiento preventivo con respecto al ente regulador del país en donde se brinda el servicio, Perú.

#### **Antecedente No.4**

- **Título:** Plan de Mantenimiento Preventivo a un Sistema de Bombeo en Conjunto Motor Bomba Centrífuga.
- **Autores:** Ramón Rodríguez Torres y Antonio Escolar Chica.
- **Institución:** Universidad Antonio Nariño, Sede Cartagena, Colombia.
- **Año:** 2021

Propone un plan de mantenimiento de un sistema de bombeo con equipos centrifugos, de los cuales están presentes en el Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Si bien es cierto que se comparte la característica antes mencionada, es correcto afirmar que comparten el hecho de que las condiciones explicadas en el trabajo de Ramon y Antonio son compatibles con algunas de las situaciones que caracterizan a los equipos del laboratorio, por ejemplo, las extenuantes jornadas de trabajo de las bombas, por ejemplo, la bomba centrífuga del laboratorio trabaja continuamente un aproximado de 7 horas, a frecuencia fija con un variador de frecuencia.

Explica también que, para la industrial investigada, se observa que en el proceso de inyección de MVC (monómero de cloruro de vinilo) se han encontrado varios inconvenientes referentes al mantenimiento de este tipo de equipos debido a su alto nivel tecnológico y elementos con sellos especiales que actualmente son solo conocido por los proveedores y fabricantes. Y por ende dichos inconvenientes han llevado a fallas parciales o totales en diferentes componentes del

equipo con elevados costos de mantenimiento y tiempos de paradas prolongados En el desarrollo de este plan se han podido detectar puntos de mejoras como por ejemplo la instalación de RTD (detectores de temperaturas, sensores de flujo), sistemas de protección en motores e instalaciones de válvulas motorizadas.

Es decir, se le implementaron mejoras a los equipos para que el mantenimiento preventivo sea más preciso y maximizar las ganancias y minimizar los costos. Por otro parte explica con ejemplo claros los beneficios de la implementación de planes de mantenimiento preventivo en diferentes empresas y los beneficios tanto financieros como de operaciones del mantenimiento preventivo.

### **Antecedente No.5**

- **Título:** Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los laboratorios pertenecientes a la facultad de ingeniería mecánica de la universidad tecnológica de Pereira, Colombia.
- **Autora:** Nora Eliana Montealegre Yela.
- **Institución:** Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- **Año:** 2018

El planteamiento de la tesis de Nora Montealegre con respecto al mantenimiento preventivo de los equipos de los laboratorios es interesante en cuanto a las etapas que toma la estudiante como pasos para desarrollar dicho plan, estas etapas son, como primera actividad, la recolección de información registrada y almacenada, adquirida en el transcurso de la vida útil de cada equipo en cada uno de los laboratorios, generando así un listado de equipos que conforman el plan de mantenimiento preventivo.

Como segunda actividad, diligenciar la ficha técnica y ordenar la información de registros de mantenimientos en las hojas de vida del listado de equipos. En la tercera actividad se genera un plan de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta las tareas básicas de mantenimiento, las cuales son necesarias a realizar con una frecuencia estipulada en cada equipo. Como cuarta actividad, se implementa una prueba piloto en uno de los laboratorios de la Facultad, obteniendo así una observación del estado actual en el que se encuentra la gestión de mantenimiento preventivo en los laboratorios. Finalmente, se establecen los equipos necesarios a disposición teniendo en cuenta los diferentes criterios de acuerdo con el contexto en que se desarrolla la práctica

empresarial. Estas actividades se pueden tomar como guía para la elaboración del plan de mantenimiento que se planteara para el laboratorio de flujo de agua del AyA.

La estudiante plantea que el plan de mantenimiento contempla las siguientes áreas de los laboratorios de la facultad de ingeniería mecánica, como: los registros de mantenimiento que se lleven en cada laboratorio, las recomendaciones de los fabricantes y el conocimiento del personal con el propósito de diligenciar las tarjetas maestras, hojas de vida y establecer las rutas y rutinas de mantenimiento preventivo anual necesarias conformadas por las tareas básicas de cada tipo como lo son lubricación, electricidad, mecánicas e instrumentación.

### **Antecedente No.6**

- **Título:** Implementación de plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales para aumentar su vida útil, en proyecto de gran minería, Arequipa 2019
- **Autor:** Alfredo Edgardo Rivero Diaz.
- **Institución:** Universidad Continental, Arequipa, Perú.
- **Año:** 2020

El trabajo realizado por Alfredo Rivero, tiene unos alcances importantes y similares en cuanto a la cantidad de bombas y tipo de bombas en uso (cuatro bombas), una de las cuales es de tipo centrífuga, pero lo verdaderamente interesante son algunos planteamiento que realiza el autor, por ejemplo, la metodología de la investigación se permitió reconocer los problemas que tienen las bombas específicamente identificando los factores a los cuales se encuentran expuestas, además que se establecen los diferentes métodos para tomar mediciones, los cuales son: medición de vibración, temperatura y verificación de alineamiento.

Luego se aplicó herramientas de gestión para identificar las fallas más comunes y significantes en las bombas centrífugas verticales mediante el diagrama de Pareto e Ishikawa. Con la información obtenida se realizó el método estadístico de Chi – Cuadrado para comprobar la hipótesis y verificar si tienen relación con los cambios realizados en el plan de mantenimiento.

También el autor explica que uno de los principales problemas de desgaste de las bombas centrífugas es por el uso de agua con sólidos en suspensión, para ello se debe tener en cuenta los elementos con los que fueron fabricados las bombas, tales como sellos mecánicos, bujes de sacrificio y holguras internas de la bomba, para poder así realizar un diagnóstico.

El mantenimiento que se realiza a estas bombas son correctivos, porque que son realizados después de ocurrir la falla mientras que si se realizara el mantenimiento preventivo y predictivo para estas bombas centrífugas ayudaría a reducir los costos en la mina, optimizando los procesos y mejorando la vida útil de las bombas.

### 1.5.3 Antecedentes Nacionales

#### Antecedente No.1

- **Título:** Propuesta para el desarrollo administrativo y operativo del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), que permita cumplir los requisitos técnicos y normativos establecidos por la autoridad reguladora de servicios públicos (ARESEP) respecto a la realización de las pruebas de calibración de los medidores de agua.
- **Autora:** María Gabriela Vallejo Astúa
- **Institución:** Universidad de Costa Rica
- **Año:** 2022

La tesis de la estudiante María Vallejo explica una serie de eventualidades que se dan en la gestión del Laboratorio de Flujo de Agua debido a que el flujo de trabajo tiende a ser inconstante o bien por la demanda, en ocasiones el volumen rebasa la capacidad de los bancos de pruebas mientras que en ocasiones las solicitudes de pruebas es baja, debido a lo anterior la autora propone una gestión para el laboratorio la cual incluye actividades atinentes al Cumplimiento del Art49, Norma Técnica: Hidrómetros para el Servicio de Acueducto. AR-HSA-2008, lo importante de esta tesis es el panorama que brinda la misma en cuanto al volumen de trabajo del laboratorio que tiene una relación directamente proporcional con el desgaste de los equipos que conforman los bancos de pruebas del laboratorio, aporto un análisis estadístico de los meses con mayor cantidad de solicitudes de pruebas, en cualquiera de sus tipos, ya sea por reclamos, norma de ARESEP o prueba especial.

Lo cual se vuelve se suma importancia los datos recopilados por la autora de esta tesis. Por otra parte, también proporciona instrumentos e ideas para mejorar la prestación de los servicios que brinda el del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

**Antecedente No.2**

- **Título:** Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA
- **Autor:** Leonardo Francisco Dorado Alvarado
- **Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica
- **Año:** 2020

Este trabajo final de investigación, a pesar de que proporciona una propuesta de un mantenimiento de tipo predictivo, la parte que es importante para este proyecto es la explicación que brinda acerca de la gestión de los recursos financieros de la institución, debido a que realiza un análisis FODA previo de la situación actual de la dirección de sistemas de bombeo en cuanto a la gestión del mantenimiento, una parte de lo que se va a realizar en este trabajo final de graduación. Posteriormente una vez hecho dicho análisis, recopila los datos para realizar una propuesta tanto técnica como financiera fundamentada en el estudio de los datos de fallas versus los datos que proporcionan las estaciones de rebombeo en la Gran Área Metropolitana (GAM).

El autor explica que la Dirección de Bombeo actualmente tiene instaurado un modelo de gestión basado en el conocimiento, el cual aprovecha la gran cantidad de información con la que cuenta la intendencia. Sin embargo, es tanta la información generada de mantenimiento y el movimiento de activos, que para el ingeniero encargado del sistema de gestión se ha vuelto una tarea laboriosa el hecho de gestionar el control de los índices instaurados en dicho sistema, lo que afecta la disponibilidad de los equipos causando tareas de mantenimiento crítico que podrían llegar a costar 257 496 960,00 CRC anuales, tomando en cuenta un evento anual en cada una de las estaciones y con un monto promedio de 2 011 695,00 CRC.

**Antecedente No.3**

- **Título:** Plan de mantenimiento preventivo de sistemas electromecánicos edificio CISOP Hospital México
- **Autor:** Luis Fernández Picado
- **Institución:** Universidad Internacional de las Américas
- **Año:** 2023

El trabajo final de graduación del estudiante Luis Fernández Picado posee vertientes que son interesantes para el presente trabajo, en primera instancia que propone un plan de mantenimiento en una institución del estado costarricense. Explicado de una mejor manera, debido a que se trata de una empresa estatal, la misma debe cumplir con todos los procedimientos de contratación pública, gestión de recursos públicos y demás temas atinentes de los procedimientos de administración pública, que están sujetos a la Contraloría General de la República de Costa Rica.

Por otra parte, es importante la propuesta del procedimiento que realiza el estudiante en cuanto al planteamiento del mantenimiento preventivo de estas salas de operación en el Hospital México de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), debido a que como primer paso, el autor procede con un inventario de los componentes que forman los sistemas electromecánicos, para obtener su información técnica como datos del fabricante, el modelo, la ubicación de cada componente y la cantidad de cada uno de los componentes que forman dichos sistemas.

Una vez efectuado el inventario, procedió a evaluar cada activo mediante un análisis de criticidad, bajo los criterios de riesgo, afectación, utilización y frecuencia de fallas. De esta forma, los catalogo como equipos tipo A, B y C, lo que permitió definir el nivel de importancia. También basado en el citado análisis de criticidad, se desarrolló un cronograma de actividades por un periodo de un año (propuesta que se maneja también para el Laboratorio de Flujo de Agua del AyA), en el que se acomodaron las tareas de una forma flexible, de modo que el personal del departamento de mantenimiento podrá coordinar de una manera que impacte menos sus actividades actuales.

Luego de esto, procedió con la información técnica recopilada, a diseñar las rutinas de mantenimiento preventivo de cada uno de los sistemas. Estas rutinas se realizaron con un formato estandarizado con lo que se pretende extender la vida útil de los equipos. Otro aspecto importante en este trabajo es el planteamiento comparativo entre las propuestas financieras de que dicho plan de mantenimiento sea realizado por los técnicos del hospital o bien, por una contratación pública bajo el método del CAUE.

#### **Antecedente No.4**

- **Título:** Diseño de propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para el Departamento de Mantenimiento de GUALAPACK Costa Rica S.A.

- **Autora:** Loren Dayana Salazar Quirós
- **Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- **Año:** 2020

Este trabajo final de graduación tiene particularidades que pueden ayudar a complementar el presente trabajo, por una parte la idea central para desarrollar un modelo de la gestión del mantenimiento versa sobre el desconocimiento que poseen los altos mandos de la empresa GUALAPACK Costa Rica S.A. en cuanto a los costos de la gestión del mantenimiento, antes de la propuesta de la estudiante Loren Salazar, es decir existe similitud en cuanto a que no poseen un plan de mantenimiento preventivo como tal, antes de la propuesta.

Dicha empresa tiene ventajas tal y como lo explica la autora, ya que cuenta con herramientas tecnológicas presente en la empresa como lo es un circuito cerrado de internet interno y un software de mantenimiento que facilita la incorporación de un sistema de recolección de datos e información. Pero a pesar de dichas facilidades, también posee la necesidad de realizar este proyecto para así obtener información derivada del análisis y modelado de los resultados obtenidos de la ejecución de operaciones, debido a que da paso a la justificación de la estrategia de mantenimiento, a la renovación continua, planificación de actividades y programación que avala la producción y resultados económicos al mínimo costo, seguridad de funcionamiento, indicadores fundamentales para el proceso de mantenimiento y generar un modelo de mantenimiento sólido y eficaz.

Es decir, lo que interesa de esta tesis es que a pesar de que ya cuentan con cierto nivel de organización en el mantenimiento, la empresa GUALAPACK está en una búsqueda de la optimización de los recursos, tanto humanos como financieros, dicho lo anterior esta idea debe ser el fin último de todo plan de mantenimiento, la propuesta de la autora se enfoca en la implementación de un modelo de gestión normalizado da la oportunidad de evaluar el estado inicial y determinar los cambios necesarios en el Departamento de Mantenimiento para conocer las prioridades y necesidades en cuanto al almacén de mantenimiento, recursos humanos, medios disponibles (herramientas para desarrollar la función de mantenimiento), flujo de trabajo, recursos informáticos, trato del personal y el plan de actuación existente en el departamento para la organización del personal, material para las labores e informes técnicos con la finalidad establecer y dar seguimientos a los indicadores de mantenimiento.

**Antecedente No.5**

- **Título:** Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento para los equipos mineros de la Mina La Chilena en Holcim Costa Rica.
- **Autor:** Antonio de Jesús Solano Álvarez
- **Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- **Año:** 2020

El proyecto de graduación de estudiante Antonio Solano plantea una alternativa a la gestión previa que tenía la empresa Holcim en cuanto a sus equipos de minería en Mina La Chilena, la cual se basaba en una tercerización de los servicios de mantenimiento, debido a que el autor propone una gestión propia del mantenimiento primeramente preventivo y en casos donde no aplique o se salga de los límites establecidos del tipo correctivo, por lo cual proyecto presenta una propuesta de diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento que permita establecer los costos totales de mantenimiento de los equipos móviles mineros y será implementada como plan piloto en dos equipos seleccionados, mediante un análisis de criticidad y haciendo un análisis de modo y efecto de falla, donde se definirán las actividades preventivas y predictivas que se deben realizar a los equipos y cuál será su costo total anual.

Un concepto interesante que brinda el autor es la sostenibilidad del Modelo de Gestión Mantenimiento el cual será evaluado mediante un Cuadro de Mando Integral en el que se definen dos objetivos por cada perspectiva, con el fin de validar el modelo. Dicha validación se ve reflejada en cuanto a que, si el Modelo de Gestión de Mantenimiento es sostenible o no, ya que, si se puede medir, se puede controlar y mejorar.

**Antecedente No.6**

- **Título:** Desarrollo de herramienta con base ingenieril de análisis de estado de vida útil de los sistemas de aire acondicionado, calderas, supresión y detección de incendios, sistemas de aguas negras y potables y generadores eléctricos basado en la norma NICSP 21, con vías a la aplicación generalizada de todos los equipos no generadores de efectivo del ITCR.
- **Autor:** Erick Nicholas Thomsen Chumpitasi
- **Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- **Año:** 2021

El proyecto del estudiante Erick Thomsen no es precisamente una elaboración de un plan de mantenimiento pero desarrolla de una manera muy extensa y generalizada de análisis de estado de vida útil con base ingenieril de los equipos electromecánicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, parte fundamental de un plan de mantenimiento, aparte de lo anterior genera una serie de mecanismos para establecer si el equipo en análisis debe ser reemplazado o bien implementar un determinado mantenimiento de acuerdo a un análisis de criticidad con parámetros especialmente financieros.

De acuerdo con lo anterior el autor presenta el concepto de “punto de partida”, dicho punto de partida representa la inversión inicial a recuperar mediante los flujos de efectivo que la empresa o en este caso institución tengan y cuya expectativa de obtención debe resultar probable. Es decir, se debe tener una proyección favorable del activo en posesión. El análisis de los activos desarrollado a partir de normas internacionales no solo tiene que ver con el valor inicial del activo y su desempeño a partir de un flujo monetario, sino, también tiene que ver con el valor del tiempo de vida útil y el mantenimiento que se le da al activo durante este período.

La vida útil de un producto se refiere a aquellas etapas productivas por las cuales pasa un producto antes de empezar su periodo de despacho, es decir, el proceso en el cual deja de ser productivo para la empresa. Por otro lado, el mantenimiento que este sustenta se refiere a las medidas tomadas con el fin de que el activo tenga un potencial de servicio prestable adecuado. El presente proyecto desarrolla una herramienta de análisis de estado de vida útil de activos en la plataforma “Excel”, basado en un criterio ingenieril (Norma NICSP 21, ISO 14001 y vida útil). Para esta herramienta que se desea desarrollar inicialmente se aplicarán los aspectos establecidos en las normas. Posteriormente a partir de un sistema de puntuación y estado de vida útil se desarrollará un análisis con información resolutive de estado de vida útil de los activos.

### **1.6 Limitaciones**

- El personal a cargo del plan de mantenimiento serían los del laboratorio de flujo de agua, los cuales no tienen, de momento, capacitación para estas labores.
- Debido a la regla fiscal se debe demostrar un beneficio financiero para la institución.
- En virtud de que se trabaja con presupuestos, la revisión y cambio de procedimientos solo se puede hacer antes de solicitar el mismo (presupuesto) del próximo año.
- En el laboratorio de flujo de agua no cuentan con la aplicación de la metodología de mantenimiento preventivo a los equipos, por lo que no existe el diseño de un plan de mantenimiento previo.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

El mantenimiento preventivo es una estrategia importante para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos electromecánicos del laboratorio de flujo de agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. El objetivo principal de un plan de mantenimiento preventivo es reducir el tiempo de inactividad no programado del equipo y minimizar los costos de reparación y reemplazo. También para garantizar una respuesta pronta y precisa a los reclamos de las personas abonadas del servicio de agua potable con respecto a las pruebas volumétricas. Se abordará este tema desde diferentes aristas, las cuales ya han sido estudiadas por otros expertos alrededor del mundo.

En este marco teórico se discuten los conceptos clave que deben considerarse en la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para equipos electromecánicos, así como algunas de las técnicas, también la identificación de equipos críticos, programación de tareas de mantenimiento, documentación y registros, capacitación del personal, coordinación con proveedores y fabricantes, evaluación y mejora continua, y las herramientas más comunes utilizadas en la implementación de dichos planes.

Una de las principales razones para implementar un plan de mantenimiento preventivo es prevenir fallas en los equipos. La falla de un equipo puede ser causada por varios factores, incluyendo el desgaste normal, la falta de lubricación, la corrosión, la operación incorrecta y la sobrecarga. Un plan de mantenimiento preventivo bien diseñado puede ayudar a identificar y corregir estos problemas antes de que provoquen una falla del equipo.

La planificación del mantenimiento preventivo implica la identificación de los equipos críticos, la estimación de la frecuencia y el tipo de mantenimiento requerido y la documentación de los procedimientos de mantenimiento. Para la identificación de los equipos críticos, se pueden utilizar técnicas de análisis de criticidad que permiten evaluar la importancia de cada equipo en función del impacto que tendría su falla en el proceso productivo. La estimación de la frecuencia y el tipo de mantenimiento requerido se puede realizar mediante el análisis de datos históricos de fallas del equipo, la revisión de las recomendaciones del fabricante y la experiencia del personal de mantenimiento.

En la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, es importante contar con un sistema de gestión de mantenimiento que permita la programación de las actividades de mantenimiento, el registro del historial de mantenimiento y la generación de informes de

desempeño del equipo. Los sistemas de gestión de mantenimiento también pueden incluir herramientas de análisis de datos que permitan identificar patrones de fallas y mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

En resumen, un plan de mantenimiento preventivo bien diseñado es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos electromecánicos en los bancos de pruebas volumétricas del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. La identificación de los equipos críticos, la estimación de la frecuencia y el tipo de mantenimiento requerido, la selección de las técnicas adecuadas y la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento son algunos de los elementos clave que deben considerarse en la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo efectivo.

## **2.2 Mantenimiento**

Según Garrido el mantenimiento se define como, “el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (2003, p.1). Partiendo de la definición de este experto en la materia, también es correcto afirmar que el mantenimiento como tal y todas sus aristas, están en constante evolución, dado que la innovación es parte de este ámbito de la ingeniería. El mantenimiento como tal comienza a tener una presencia más fuerte en la vida de las empresas a partir de la revolución industrial y la invasión de las diferentes máquinas necesarias para cumplir la producción deseada. Tal como lo explica Garrido sobre los inicios del mantenimiento como tal y las razones que impulsaron a que este concepto se volviera casi imprescindible para la industria.

En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción.

Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos. A partir de la Primera Guerra Mundial, y, sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de

mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. (2003, p. 1)

Por otro lado, Palencia hace una explicación del porque en la actualidad el mantenimiento es un tema álgido para las empresas hoy en día. Dado que con las diferentes técnicas y procedimientos se llegan a ver los resultados deseados en los diferentes activos fijos.

La base para crear e implementar el plan debe ser la moderna ideología del mantenimiento, que no solo previene los paros improductivos, sino también que aporta al incremento de utilidades, mediante programas de reducción de costos (consumo de energéticos), aumento de la calidad de los productos, y en general mejoramiento de la productividad de planta. Para lograr la mayor efectividad, se requiere además de los recursos y técnicas adecuadas, del apoyo de producción, para que el departamento de mantenimiento sea dirigido con sentido gerencial amplio, es decir, se debe hacer un cambio de concepción centralizada por una integrada, y lograr de esta manera la conformación de grupos interdisciplinarios que trabajen con el enfoque sistémico global. (2011, p. 6)

Teniendo en cuenta estos dos extremos, tanto el de los inicios como el de la actualidad, el mantenimiento como tal se viene desarrollando desde el mismo día que se impulsó este tipo de actividad, ya que la misión principal del mantenimiento es preservar y asegurar la continuidad de un equipo, pasando a un segundo plano, ya que se toma por sentado. La cuestión en la época moderna va más allá del equipo sino también de la relación que existe entre el equipo y el desempeño de la planta o fábrica. Si bien es cierto en ocasiones el mantenimiento se ve como un gasto, es responsabilidad de los ingenieros en este rubro que demuestren la factibilidad desde la parte tanto técnica como financiera. Este último punto es lo que vuelve atractivo la actividad del mantenimiento cuando se demuestra de forma sustancial que hay retorno de inversión al momento de implementar un plan de mantenimiento.

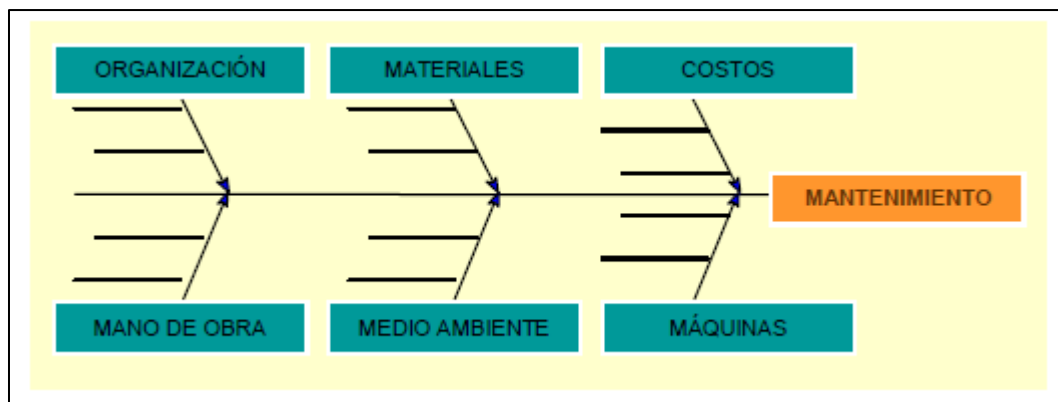


Figura 1. Elementos del mantenimiento.

Fuente: Obtenido de (Palencia, 2011, p. 18)

### 2.3 Evolución del mantenimiento

Tal como se afirmó anteriormente el mantenimiento tiene sus inicios a finales del siglo XIX, con el auge de la revolución industrial, por lo tanto, es correcto afirmar que la actividad no tiene más doscientos años de existencia, pero según lo expone Palencia, (2011), el mantenimiento ha tenido diferentes etapas, por mencionar algunas atinentes al tema y sus distintos objetivos. Como primera etapa está comprendida desde el inicio de la actividad hasta mediados del siglo XX, aproximadamente antes de la segunda guerra mundial, la define como “Primera generación”, y posee como características principales:

- Equipos robustos, sobredimensionados y simples
- Volúmenes de producción bajos
- Las actividades demandaban poca destreza
- No existía alta mecanización industrial
- Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos
- La prevención de fallas en los equipos no era la prioridad
- El mantenimiento era mantenimiento reactivo o de reparación
- No había necesidad de un mantenimiento sistemático.

Características las cuales condicionan e impulsan el desarrollo del mantenimiento, dado que al ser parte de la ingeniería debe estar un constante cambio. Por otra parte, en la segunda generación del mantenimiento tuvo un evento de magnitud global como lo fue la segunda guerra

mundial, dada los requerimientos dados por este acontecimiento dicha generación se ve condicionada por:

- Importancia en la productividad
- Incremento de la mecanización en las industrias
- Aumento de la complejidad de los equipos
- Mayor interés a los tiempos de parada de los equipos
- Inicio del Mantenimiento Preventivo
- Altos niveles de inventario de repuestos
- Crecimiento de los costos de mantenimiento
- Sistemas de planificación y control de mantenimiento
- Aumentar la vida útil de los equipos y sistemas
- Inicio de la Sistematización del Mantenimiento.

Según Palencia esta generación se extiende hasta mediados de la década de los años setenta. Por consiguiente, la tercera generación se ve irrupida por el auge de nuevas tecnologías y técnicas inéditas para la época, por lo tanto, algunas de las variables que afectaron esta porción de tiempo, que se extendió hasta los inicios del siglo XXI, fueron:

- Altos volúmenes de producción
- Alto grado de mecanización y automatización
- Importancia a la productividad y los estándares de calidad
- Demanda de Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos
- Relevancia a la protección integral de las personas, equipos y medio ambiente
- Significancia de los costos de mantenimiento
- Extensión al máximo de la vida útil de los equipos
- Desarrollo acelerado de las tecnologías de información
- Desarrollo del Mantenimiento Basado en Condición
- Aplicación de las filosofías Mantenimiento Productivo Total (TPM) y del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Como última generación, se encuentra la cuarta, y la más importante para este trabajo final de investigación, y es la síntesis de las tres anteriores, donde integra los mejores puntos. Según el autor, esta generación se encuentra marcada por:

El final del siglo pasado y el comienzo del nuevo milenio representan la nueva revolución industrial y tecnológica marcada por la competitividad como factor de sobrevivencia de las organizaciones, lo que constituye la Cuarta Generación del mantenimiento, que se extiende desde principios del siglo hasta hoy, donde se destacan como principales características:

- Aplicación de la Gestión de Activos (AM) y la PAS 55
- Competitividad como factor de sobrevivencia de las empresas
- Alto nivel de competencias del personal de mantenimiento
- Énfasis en los indicadores de Disponibilidad y Mantenibilidad
- Confiabilidad y Excelencia Operacional
- Confiabilidad Integral de los Activos
- Prevención del Mantenimiento (MP)
- Análisis de Incertidumbre (RBI)
- Desarrollo de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)
- Optimización Costo-Riesgo-Beneficio (BRCO)
- Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC)
- Modelos Mixtos de Confiabilidad (RMM)
- Optimización Integral del Mantenimiento (MIO).

#### **2.4 Tipos de mantenimiento**

El autor del libro “Organización y Gestión Integral de Mantenimiento”, Santiago Garrido, establece cinco tipos de mantenimientos, la siguiente tarea que debemos abordar es la de decidir cómo vamos a mantener cada uno de esos equipos. Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento

cero horas y mantenimiento en uso, según los llama la división clásica de los tipos de mantenimiento. (Garrido, 2003, p. 17)

Por otra parte, Palencia solo identifica dos tipos de mantenimiento, que a su vez están subdivididos. Hay toda una explicación detrás de este postulado, según Palencia:

Un sistema de Gestión de Mantenimiento busca garantizarle a los clientes internos o externos, que el parque industrial esté disponible, cuando lo requieran con Disponibilidad, Confiabilidad y Seguridad Total, durante el tiempo necesario para operar, con los requisitos técnicos y tecnológicos exigidos, para producir bienes o servicios que satisfagan las condiciones, deseos o requerimientos de los clientes, en cuanto a la calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno, al menor costo posible y con los mejores índices de productividad, rentabilidad y competitividad. En la práctica real del mantenimiento industrial solo existen dos tipos, o formas fundamentales de hacer mantenimiento:

- Mantenimiento Reactivo
- Mantenimiento Proactivo.

Si bien es cierto es interesante este postulado no se tomará en cuenta la organización como tal de este autor, pero si algunas definiciones que puede ampliar la visión que se tiene sobre conceptos que son importante en el mundo del mantenimiento.

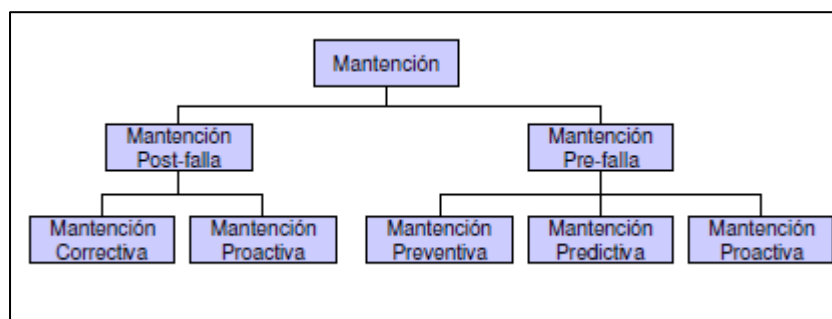


Figura 2. Estrategias de mantenimiento.

Fuente: Obtenido de (Pascual, 2002, p. 13)

## **2.5 Mantenimiento correctivo**

Dentro del mundo del mantenimiento y como la primera muestra de mantenimiento, se encuentra el de tipo correctivo y como bien lo definen Palencia y Garrido son tareas que son de tipo reactivo, como al inicio del mantenimiento. Según Garrido el mantenimiento correctivo es:

El conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos (Garrido, 2003, p. 17).

Si bien es cierto lo indicado, Palencia también postula el mantenimiento correctivo como:

...son todas las actividades para corregir las causas de las fallas, ejecutadas en los equipos, máquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados. Por tanto, las labores que deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio. (Palencia, 2011, p. 43)

Lo que es importante acá es el tema de que también hay que ejecutar correcciones para recuperarla calidad que se perdió por la falla o bien por una des calibración de este.

## **2.6 Mantenimiento preventivo**

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno, sin generar una parada significativa del equipo (Garrido, 2003, p. 17).

Para interés de este trabajo final de graduación esta definición se vuelve de suma importancia debido a que este tema es el eje central dicha tesis.

Clase	Tipo	Componentes
Mecánica	Reemplazo	Aceite Filtros Piezas de desgaste, frenos Filtros Rodamientos Juntas Resortes
	Regulación	Juegos/interferencias Tensión (correas) Presión
	Chequeo	bloqueos Niveles
Eléctrica	Reemplazo	Contactos Componentes asociados a fallas térmicas Capacitancias
	Regulación	Impedancias en circuitos, potenciómetros
	Chequeo	Valores de aislación Valores de capacitancia

Figura 3. Mantenimiento preventiva

Fuente: Obtenido de (Pascual, 2002, p. 14)

### 2.7 Administración del Mantenimiento Industrial

Se puede definir como la aplicación de un conjunto sistemático de técnicas y herramientas que, mediante la coordinación de procesos y estructuras corporativas, busca la obtención de los objetivos estratégicos preestablecidos (Palencia, 2011, p. 65).

### 2.8 Desgaste normal

Debido a causas como la presión, movimiento o velocidad de operación, corrosión, fatiga, temperatura, vibraciones, etc. (Palencia, 2011, p. 5).

### 2.9 Desgaste anormal

Debido a descuido, golpes, sobrecarga de trabajo o mala operación (Palencia, 2011, p. 5).

### **2.10 Desgaste accidental**

Debido a múltiples causas, incontrolable, naturales o meteorológica, u otras improgramables que se conocen usualmente como accidentes (Palencia, 2011, p. 5).

### **2.11 Estrategias**

Directrices por aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la dirección (Garrido, 2003, p. 4).

### **2.12 Análisis de equipos**

Estudiar cada uno de los equipos que constituyen la planta con cierto nivel de detalle, determinando qué tareas son rentables y cuáles no lo son (Garrido, 2003, p. 7).

### **2.13 Listado de equipos**

Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento. Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información (Garrido, 2003, p. 8).

LISTA DE EQUIPOS (Continuación)		
EMPRESA: CD-MANUFACTURE		
PLANTA: BARCELONA		
Nivel 1 ÁREA	Nivel 2 EQUIPO	Nivel 3 SISTEMA
ÁREA 3: INYECCIÓN	<i>Inyectora 1</i>	Sistema hidráulico
		Sistema de alimentación de policarbonato
		Sistema de conformado del disco
		Sistema de transporte
		Sistema de metalizado
	Sistema de lacado	
	Sistema de inspección final	
	<i>Inyectora 2</i>	Sistema hidráulico
		Sistema de alimentación de policarbonato
		Sistema de conformado del disco
		Sistema de transporte
		Sistema de metalizado
	Sistema de lacado	
	Sistema de inspección final	
	<i>Inyectora 3</i>	Sistema de control
Sistema hidráulico		
Sistema de alimentación de policarbonato		
Sistema de conformado del disco		
Sistema de transporte		
Sistema de metalizado		
Sistema de lacado		
Sistema de inspección final		
ÁREA 3: SERIGRAFÍA	<i>Impresora 1</i>	Sistema hidráulico
		Sistema de control
	<i>Impresora 2</i>	Sistema de impresión
		Sistema hidráulico
		Sistema de control
<i>Laboratorio de serigrafía</i>	Sistema de impresión	
ÁREA 4: ENVASADO	<i>Envasadora 1</i>	Sistema de fabricado de telas
		Sistema neumático
		Sistema eléctrico
	Sistema de control	
	<i>Envasadora 2</i>	Sistema mecánico
		Sistema neumático
		Sistema eléctrico
Sistema de control		
Sistema mecánico		

Figura 4. Ejemplo de tabla para listado de equipos por niveles.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 20).



Figura 5. Ejemplo de codificación utilizado en el Laboratorio de Flujo de Agua de AyA.

Fuente propia.

### 2.14 Estructuras arbóreas

En este caso el autor hace referencia a estructura arbórea como parámetro de organización entre un nivel u otro. Tal y como lo explica el autor: “Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes” (Garrido, 2003, p. 8).

Para entender más afondo este término, estructura arbórea, es necesario tomar referencia de las fuentes de procesamiento de datos, donde los árboles, termino básico en esta área. En el libro "Estructuras de datos y algoritmos" de Luis Joyanes Aguilar y Zahid Ahmad, definen “Árbol” como: Los árboles son contenedores que permiten organizar un conjunto de objetos en forma jerárquica. Ejemplos típicos son los diagramas de organización de las empresas o instituciones y la estructura de un sistema de archivos en una computadora. (Algoritmos y Estructuras de Datos, s/f. p. 151)

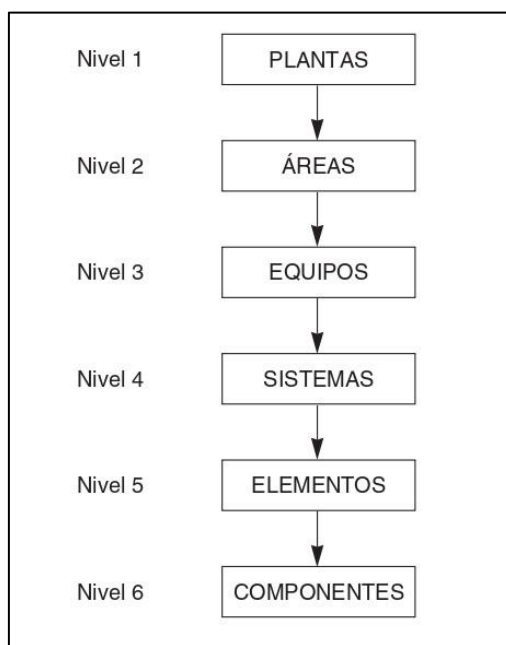


Figura 6. Ejemplo de la estructura arbórea.

Fuente: (Garrido, 2003, p. 12).

### 2.15 Planta

Centro de trabajo. (Garrido, 2003, p. 9)

### **2.16 Área**

Zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función) (Garrido, 2003, p. 9).

### **2.17 Equipo**

Cada una de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único (Garrido, 2003, p. 9).

### **2.18 Sistema**

Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo (Garrido, 2003, p. 9).

### **2.19 Elemento**

Cada una de las partes que integran un sistema (Garrido, 2003, p. 9).

### **2.20 Codificación de equipos**

Identificar cada uno de los equipos con un código único. Esto facilita su localización, su referencia en órdenes de trabajo, en planos, permite la elaboración de registros históricos de fallos e intervenciones, permite el cálculo de indicadores referidos a áreas, equipos, sistemas, elementos, etc., y permite el control de costes (Garrido, 2003, p. 13).

### **2.21 Sistemas de codificación no significativos**

Son sistemas que asignan un número o un código correlativo a cada equipo, pero el número o código no aporta ninguna información adicional (Garrido, 2003, p. 13).

### **2.22 Sistemas de codificación significativos o inteligentes**

En el que el código asignado aporta información. Un sistema de codificación significativo aporta valiosa información sobre el equipo al que nos referimos: tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que queramos incorporar al código. El problema es que al añadir más información el código aumenta de tamaño (Garrido, 2003, p. 13).

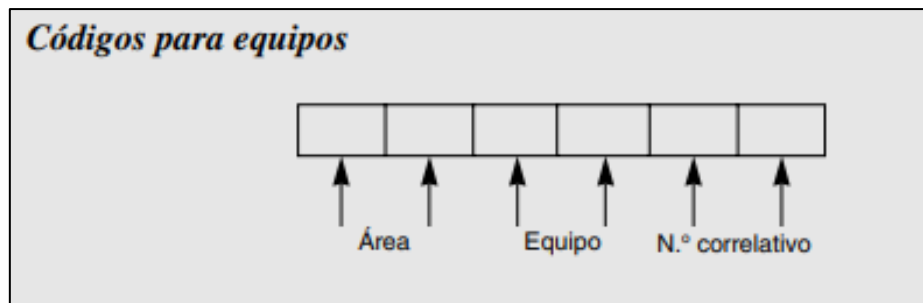


Figura 7. Ejemplo de codificación alfanumérica significativa.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 20).

### 2.23 Modelos de mantenimiento

En este punto el autor hace referencia a que los modelos de mantenimientos vienen como resultado de las diferentes mezclas de mantenimiento que se dan con respecto a las especificaciones de cada equipo, por lo tanto, el modelo de mantenimiento de instalaciones consiste en determinar qué combinación de los diferentes tipos de mantenimiento y en qué proporciones se requieren según las necesidades de cada instalación o equipo. (Garrido, 2003, p. 19)

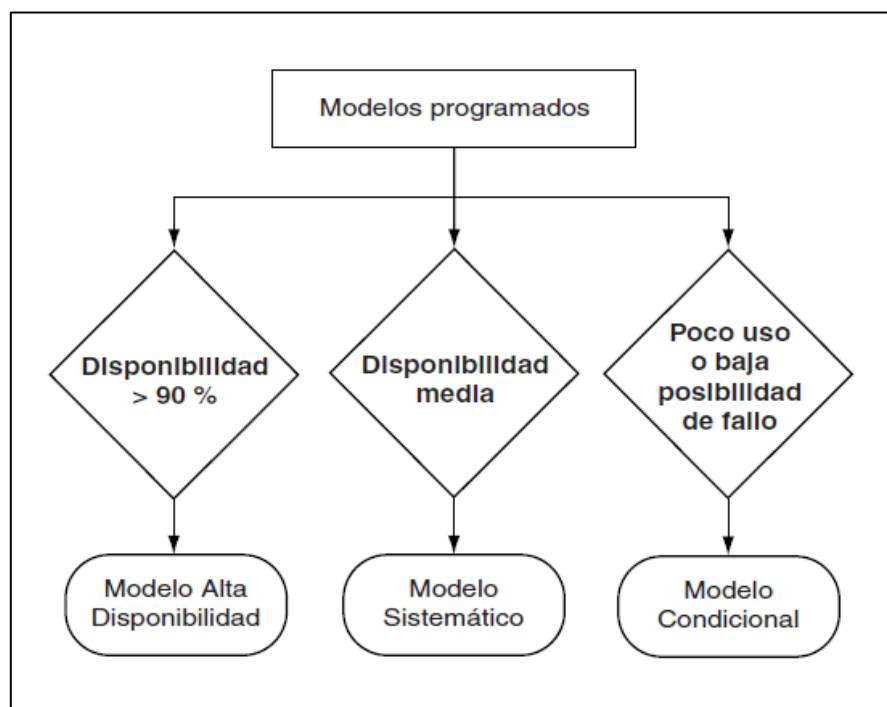


Figura 8. Esquema resumen sobre modelos de mantenimiento según el nivel de disponibilidad.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 28).

### 2.24 Modelo correctivo

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como veremos, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos. (Garrido, 2003, p. 19)

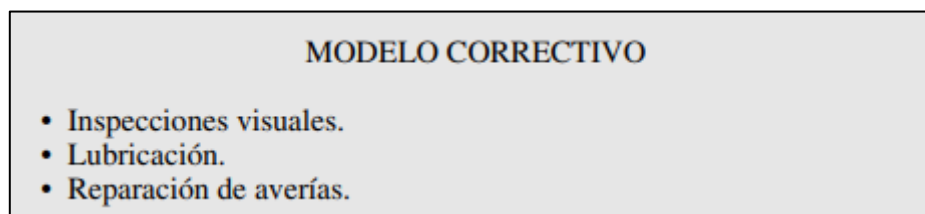


Figura 9. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento correctivo.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 20).

### 2.25 Modelo condicional

Incluye las actividades del modelo correctivo, y, además, la realización de una serie de pruebas o ensayos que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si, por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo. Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja. (Garrido, 2003, p. 20)

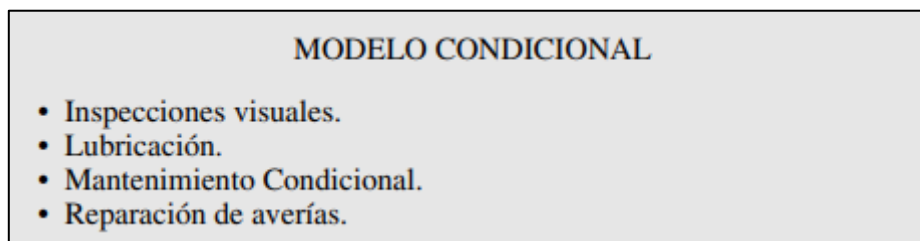


Figura 10. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento condicional.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 20).

### 2.26 Modelo sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cuál es la condición del equipo; realizaremos, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura; y, por último, resolveremos las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo. (Garrido, 2003, p. 20)

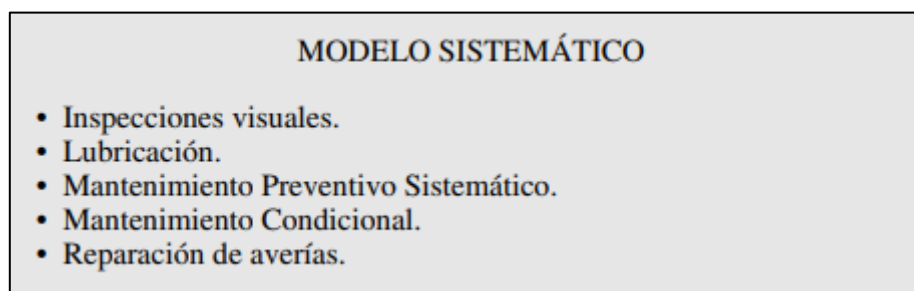


Figura 11. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento sistemático.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 21).

### 2.27 Modelo de alta disponibilidad

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es, en general, el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas

sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año. (Garrido, 2003, p. 21)

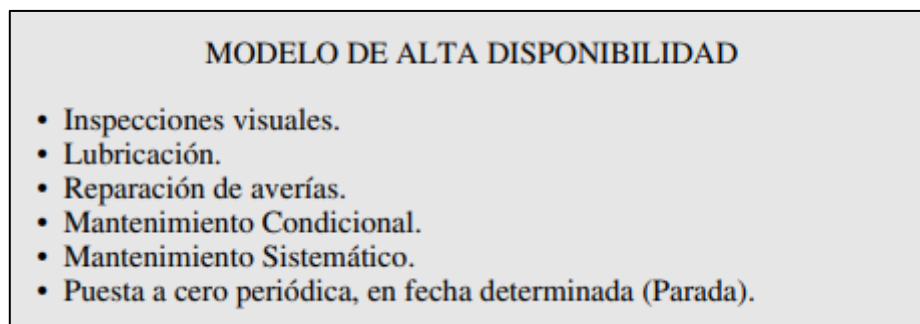


Figura 12. Actividades que conforman un modelo de mantenimiento de alta disponibilidad.

Fuente: Obtenido de (Garrido, 2003, p. 23).

### **2.28 Análisis de criticidad**

Con respecto a este apartado se toman como referencia la idea proporcionada por Woodhouse, 1994. Utilizada por Parra, C., & Crespo, 2019, p.2, la cual definen al análisis de criticidad como:

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. (Parra, C., & Crespo, 2019, p. 4)

Por lo cual se utilizará para este trabajo final de graduación el "Método del flujograma de análisis de criticidad del tipo cualitativo, esto debido a que no hay un registro previo de reparaciones que puedan servir de base para aplicar otro método, ya sea cuantitativo o bien semicuantitativo, propuesto por los autores antes mencionados.

Según la propuesta de los autores los equipos se deben de jerarquizar en 3 categorías:

- Clase A
- Clase B

- Clase C

Si bien es cierto la clasificación anterior comienza con la jerarquización de los diferentes equipos, se necesitan otros criterios para que la misma sea explicada de una mejor manera y quede con un mayor detalle del porqué un equipo u otro debe estar en determinado grupo. Los criterios, según el autor, permiten subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera más controlada y auditable, una vez definidas las categorías de deben definir los criterios excluyentes que categorizaran un equipo en un grupo u otro. Los criterios que propone el autor para el análisis de criticidad son:

**Criterio 1. Medio Ambiente (E):** Hace referencia al impacto que podría tener la falla de un equipo en el medio ambiente o bien si esta significara que se debe avisar a las autoridades, por ejemplo, la fuga de amoníaco. Por lo tanto, es:

Clase A: Si un fallo de este puede provocar que la empresa tenga que recurrir a avisar a las autoridades por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y del medio ambiente.

Clase B: Si un fallo de este provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse en el interior de la empresa (por ejemplo, una fuga de sosa que se controla con la red de aguas de la empresa)

Clase C: Si un fallo de este no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental.

**Criterio 2. Seguridad (S):** Cuando la falla del equipo puede generar una afectación a los colaboradores de la empresa. Por lo tanto, es:

Clase A: Si un fallo puede producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.

Clase B: Si un fallo pudiera causar daños menores a la gente en el trabajo, mas no producen la ausencia de trabajo.

Clase C: Si un fallo no genera consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.

**Criterio 3. Calidad (Q):** Los fallos de calidad de la producción. Por lo tanto, es:

Clase A: Si una falla del equipo afecta el producto final.

Clase B: Si una falla produce sólo una consecuencia interna.

Clase C: Si una falla no ocasiona ningún impacto

**Criterio 4. Tiempo de trabajo en un activo (W):** Cantidad de tiempo que se utiliza el equipo. Por lo tanto, es:

Clase A: Los equipos que son utilizados tres turnos.

Clase B: Los equipos que son utilizados dos turnos.

Clase C: Los equipos que son utilizados un turno.

Criterio 5. Entrega (D): criterio relacionado con el impacto operacional de un fallo del activo. Por lo tanto, es:

Clase A: Si un fallo produce un paro en toda la fábrica.

Clase B: Si un fallo puede dejar sólo una línea de producción parada.

Clase C: Si un fallo no produce una interrupción significativa de la producción.

Criterio 6. Fiabilidad (F): Se relaciona con la frecuencia de fallo que pueda existir en un activo que no se mantiene correctamente. Por lo tanto, es:

Clase A: Si falla más de 2 veces al año.

Clase B: Si falla más de 1 vez y 2 como máximo por año.

Clase C: Si falla de 0 veces al año a 1 vez al año.

Criterio 7. Mantenibilidad (M): Este criterio se relaciona con el tiempo medio necesario para reparar un fallo. Por lo tanto, es:

Clase A: Los activos que requieren un tiempo medio de reparación de más de 90 minutos

Clase B: Los activos que requieren un tiempo medio de reparación de entre 45 y 90 minutos.

Clase C: Los activos que requieren un tiempo medio de reparación inferior a 45 minutos.

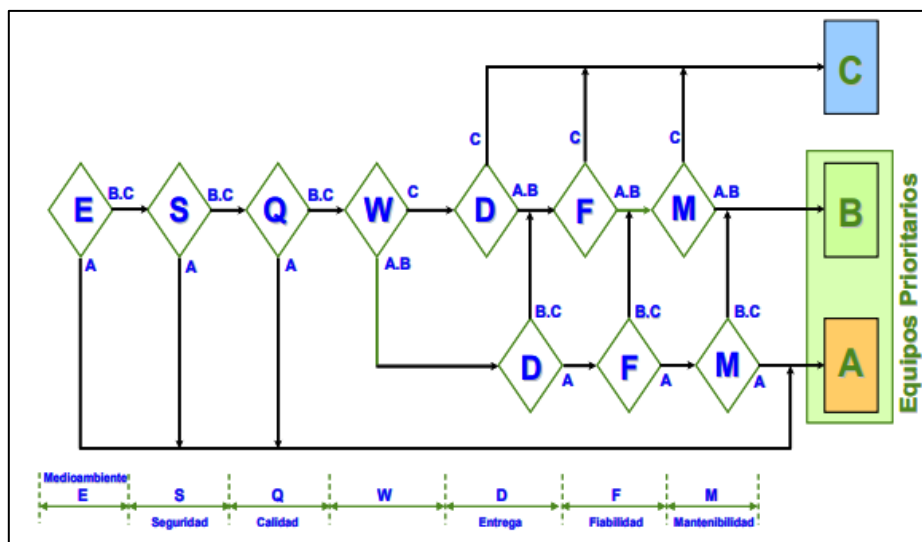


Figura 13. Propuesta para valorar la criticidad de un equipo.

Fuente: (Parra, C., & Crespo, 2019, p.2).

### 2.29 Costos del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo puede ayudar a reducir los costos de mantenimiento en comparación con el mantenimiento correctivo, ya que se pueden detectar problemas antes de que se conviertan en fallas costosas. Según un estudio realizado por la Universidad de Valencia, el costo del mantenimiento preventivo puede ser hasta un 30% menor que el costo del mantenimiento correctivo (García-Sánchez et al., 2018).

En la última etapa, el control de costos, se realiza el análisis económico de cada uno de los parámetros revisados y se determina el nivel óptimo de mantenimiento para un funcionamiento conveniente de la compañía. Ahora bien, el nivel óptimo es el punto en el cual los costos totales, que combinan los costos directos, con el tiempo perdido, deterioro excesivo y demás desperdicios, son mínimos, y están determinados por el punto más bajo en la curva de costos (Ver figura 14). Si los costos combinados se encuentran a la izquierda del punto mínimo, esto quiere decir que la inversión en mantenimiento es insuficiente. Por el contrario, si dichos costos se hallan a la derecha del punto mínimo, es porque la cantidad de mantenimiento es exagerada. (Palencia, 2011, pp. 18-19)

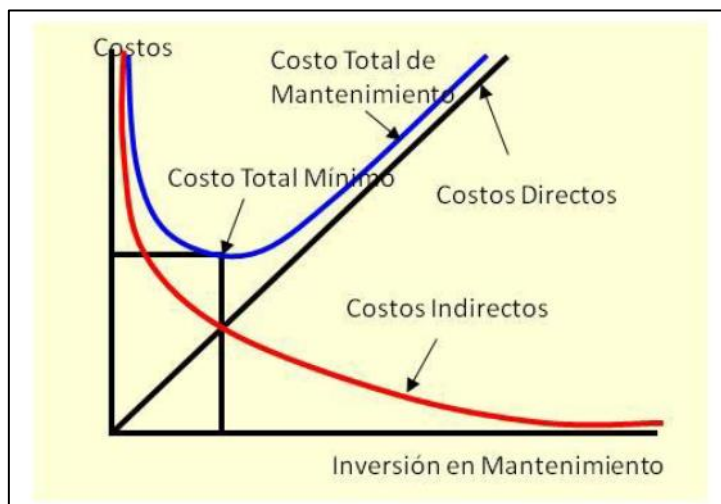


Figura 14. Gráfico de costos del mantenimiento.

Fuente: Obtenido de (Palencia, 2011, p. 19).

### **2.30 Planificación del mantenimiento preventivo**

La planificación adecuada del mantenimiento preventivo es esencial para maximizar los beneficios y minimizar los costos. Según un estudio realizado por la Universidad de Sevilla, la planificación del mantenimiento preventivo puede reducir el tiempo de inactividad no planificado en un 60% (Morales-Menéndez et al., 2021).

### **2.31 Análisis de costo-efectividad**

El análisis de costo-efectividad es una herramienta útil para evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo. puede ayudar a los gerentes de mantenimiento a tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos. Según un estudio realizado por la Universidad de Talca en Chile, el análisis de costo-efectividad ha demostrado ser una herramienta efectiva para identificar la estrategia de mantenimiento preventivo más rentable (Leiva et al., 2017).

Por otra parte, según un estudio realizado por la Universidad de Chile, el mantenimiento preventivo es más rentable que el mantenimiento correctivo en términos de costo por hora de operación (Cárcamo-Rojas et al., 2018).

### **2.32 Tecnologías de monitoreo**

Las tecnologías de monitoreo, como los sensores y el análisis de datos, pueden mejorar la efectividad del mantenimiento preventivo al permitir la detección temprana de problemas. Según un estudio realizado por la Universidad Politécnica de Valencia, el uso de tecnologías de monitoreo puede reducir los costos de mantenimiento en hasta un 25% (García-Sánchez et al., 2020).

### **2.33 Mantenimiento basado en la condición**

El mantenimiento basado en la condición es un enfoque de mantenimiento preventivo que se basa en el monitoreo continuo de la condición de los activos para determinar cuándo es necesario realizar mantenimiento. Según un estudio realizado por la Universidad de Zaragoza, el mantenimiento basado en la condición puede reducir los costos de mantenimiento en hasta un 40% en comparación con el mantenimiento preventivo basado en el tiempo. (Pérez-González et al., 2019)

### **2.34 Costos de mano de obra**

Los costos de mano de obra son un factor importante en el cálculo de los costos del mantenimiento preventivo. Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, los costos de mano de obra pueden variar significativamente según la región y el nivel de habilidad de los técnicos de mantenimiento (Ramos et al., 2017).

### **2.35 Costos de materiales**

Los costos de materiales pueden representar una parte significativa de los costos del mantenimiento preventivo. Según un estudio realizado por la Universidad de Guayaquil en Ecuador, la selección adecuada de los materiales puede ayudar a reducir los costos y mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo (Pazmiño et al., 2021).

### **2.36 Costos de equipos y herramientas**

Los costos de equipos y herramientas pueden ser un factor importante en el costo total del mantenimiento preventivo. Según un estudio realizado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, la inversión en equipos y herramientas especializadas puede mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo y reducir los costos a largo plazo (López et al., 2019).

### **2.37 Costos de tiempo de inactividad**

Los costos de tiempo de inactividad pueden llegar a ser costosos y deben ser considerados al calcular los costos del mantenimiento preventivo. Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, la planificación adecuada del mantenimiento preventivo puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad no planificado y mejorar la eficiencia de la producción (Ramos et al., 2020).

### **2.38 Gestión de repuestos disponibles**

Dadas las implicaciones que conllevan la realización de rutinas de mantenimiento preventivas sería pertinente analizar el apartado de repuestos, o bien consumibles necesarios para que el impacto del plan de mantenimiento preventivo sea más profundo. Por esta razón es que se tomará como base la propuesta del señor Santiago García, donde explica cuáles y porque algunos repuestos deben estar siempre en bodega para que los operadores puedan sustituir dichos

consumibles de la manera más rápida y precisa. El autor propone una clasificación por tipo de repuesto.

### 1. Piezas sometidas a desgaste.

A este grupo aquellos elementos que unen piezas fijas y móviles, o aquellas partes en contacto con fluidos, como cojinetes, casquillos, retenes, juntas. Son piezas sometidas a desgaste y a abrasión. En este grupo también podemos incluir juntas, retenes, rodetes y tuberías sujetas a fatiga, corrosión y cavitación.

### 2. Consumibles.

Son aquellos elementos de duración inferior a un año (8.000 horas de uso), con una vida fácilmente predecible, de bajo coste, que generalmente se sustituyen sin esperar a que den síntomas de mal estado. Su fallo y su desatención pueden provocar graves averías.

Los consumibles más usuales son los siguientes:

- Filtros.
- Lubricantes de todo tipo.
- Adhesivos.
- Discos de ruptura.
- Material de limpieza.
- Elementos de estanqueidad estándar, como juntas tóricas de tamaños y materiales comunes, empaquetadura, juntas que se pueden fabricar artesanalmente a partir de pliegos, juntas espiro metálicas de materiales y diámetros comunes, etc.
- Consumibles de taller, como discos de corte, electrodos, trapos, etc.
- Material desecante.
- Lámparas, bombillas.
- Ánodos de sacrificio.
- Escobillas de motores.
- Alúmina o material adsorbente para desecadores.

### 3. Elementos de regulación y mando mecánico.

Son aquellos elementos cuya misión es controlar los procesos y el funcionamiento de la instalación: válvulas, muelles, cigüeñales, etc. Son elementos que a pesar de no estar sometidos a

condiciones desfavorables de funcionamiento tienen una importancia capital dentro del equipo. Su fallo frecuente es por fatiga.

#### 4. Piezas móviles.

Son aquellas destinadas a transmitir movimiento. Son engranajes, ejes, correas, cadenas, reductores, etc. Su fallo habitual es por fatiga.

#### 5. Componentes electrónicos (instrumentación).

A pesar de su altísima fiabilidad, un problema en ellos suele suponer una parada del equipo. Su fallo habitual es por calentamiento, cortocircuito o sobretensión, y generalmente se producen al someter al equipo a unas condiciones de trabajo diferentes para las que fueron diseñados. Un ejemplo habitual es un fallo en otro elemento que provoca un funcionamiento anormal del equipo; otro puede ser trabajar en condiciones atmosféricas extremas de calor, frío, humedad o polvo.

#### 6. Piezas estructurales.

Difícilmente fallan, al estar trabajando en condiciones muy por debajo de sus capacidades. Son bastidores, soportes, basamentos, etc.

Por otra parte, el autor propone la división de los repuestos en tres categorías, dichas categorías son las mismas que las del apartado 2.28 – Análisis de criticidad, las cuales son “A”, “B” y “C”. Otro punto importante es el hecho de cuál es el nivel de dificultad para poder conseguir dicho repuesto. Por lo tanto, se propone otra clasificación de repuestos, pero esta vez por tipo de aprovisionamiento, la cual es la siguiente:

1. Pieza estándar: Es la pieza incorporada por el fabricante en el equipo y que puede ser comprada a varios proveedores.

2. Pieza específica del fabricante de la máquina. Es la pieza diseñada por el fabricante de la máquina, que es específica de él y, por lo tanto, debe ser aprovisionada a través del fabricante mismo.

3. Pieza específica a medida. Es la pieza diseñada para una determinada máquina, que se puede construir bajo plano y, por lo tanto, puede ser construida por cualquier taller especializado.

Se proponen cinco criterios a tomar en cuenta para la determinación de los repuestos mínimos en bodega, los cuales son:

- Criticidad del equipo

Antes de acometer la labor de fijar los stocks de repuesto, es necesario analizar los equipos y determinar su importancia. Esto se denomina, como hemos visto, Análisis de Criticidad, y

establece tres categorías para los diferentes equipos de la planta: A, o equipos críticos; B, o equipos importantes; y C, o equipos prescindibles. Lógicamente, el almacén de repuesto estará formado básicamente por componentes de equipos A, y, en menor medida, por componentes de equipos B y C.

- Consumo

Tras el análisis del histórico de averías, o de la lista de elementos adquiridos en periodos anteriores (uno o dos años), puede determinarse qué elementos se consumen habitualmente. Todos aquellos elementos que se consuman habitualmente y que sean de bajo coste deben considerarse como firmes candidatos a pertenecer a la lista de repuesto mínimo. Así, los elementos de bombas que no son críticas pero que frecuentemente se averían, deberían estar en stock (retenes, rodetes, cierres, etc.). También, aquellos consumibles de cambio frecuente (aceites, filtros) deberían considerarse.

- Plazo de aprovisionamiento

Algunas piezas se encuentran en stock permanente en proveedores cercanos a la planta. Otras, en cambio, se fabrican bajo pedido, por lo que su disponibilidad no es inmediata, e incluso, su entrega puede demorarse meses. Aquellas piezas que pertenezcan a equipos críticos cuya entrega no sea inmediata, deberían integrar el almacén de repuesto. Aquellas piezas, que aún no pertenecientes a equipos A o críticos, puedan suponer que un equipo B permanezca largo tiempo fuera de servicio, deben considerarse igualmente en esa lista.

- Coste de la pieza

Puesto que se trata de tener un almacén con el menor coste posible, el precio de las piezas formará parte de la decisión sobre el stock de estas. Aquellas piezas de gran precio (grandes ejes, coronas de gran tamaño, equipos muy especiales) no deberían mantenerse en stock y, en cambio, deberían estar sujetas a un sistema de mantenimiento predictivo eficaz. El coste de la pieza es, pues, un aspecto fundamental.

- Coste de la pérdida de producción

Si el coste de la producción perdida en caso de fallo es alto, es posible que sea interesante estudiar cada fallo que pueda tener el equipo y prever qué piezas pueden ser necesarias para acometer cualquier posible contingencia.

Estos criterios son los aspectos para tomar en cuenta al momento de seleccionar los repuestos que deberán permanecer en la bodega.

### 2.39 Pruebas Volumétricas

Según el manual de procedimientos “Manipulación de Ítems para calibración, LFA-5-P (Vásquez, 2023) del Laboratorio de Flujo de Agua explica la manera en que se aborda el tema de las pruebas volumétricas, cabe aclarar que como se basa meramente en el método aplicado para la calibración de los medidores en el laboratorio, el termino correcto para las pruebas que se llevan a cabo es “pruebas gravimétricas”, debido a que se usa como patrón la balanza para medir masa, por otra parte el término volumétrico hace referencia a que para medir el volumen desplazado por los medidores es utilizado un recipiente como patrón volumétrico calibrado y certificado.

Por lo tanto, dentro de la institución se utiliza el término “Pruebas volumétricas” en general cuando se habla del procedimiento que se efectúa en los hidrómetros. Aclarado lo anterior una prueba volumétrica consta de cuatro pasos, el primero es la selección de los hidrómetros a probar por su clase metrológica, esto tiene que ver con el diseño con el que se construyó y los rango de caudales que soporta el mismo, luego se esto se procede con la colocación de los medidores de agua en el banco de pruebas donde se regula los caudales a los que debe ser sometido el medidor de acuerdo a su clase metrológica, una vez regulado los rotámetros se les hace pasar agua de manera controlada, debido a que se monitorean condiciones como masa, temperatura, presión y tiempo, todo lo anterior según el manual de procedimientos anteriormente mencionado.

Una vez concluida la etapa donde se le hace pasar dicha agua contralado a tres caudales diferentes llamados caudal mínimo, caudal de transición y caudal nominal, se procede con la verificación del porcentaje de error que no debe ser mayor a un  $\pm 5\%$  en el caudal mínimo y un  $\pm 2\%$  en los caudales nominal y de transición con respecto al patrón de referencia utilizado. Por último, si en alguno de los tres caudales el porcentaje de error es mayor al  $\pm 20\%$  se debe proceder con la apertura del hidrómetro para determinar el daño que produce dicho error.



Figura 15. Banco de pruebas Ford DN 15 – 20.

Fuente propia.

#### **2.40 Equipos de Medición**

Para el caso del Laboratorio de Flujo de Agua el tema de los equipos de medición es de suma importancia debido que en su operación se ven involucrados esta clase de equipos como rotámetros, balanzas, termómetros, manómetros, cronómetros, entre otros. Según lo indicado por el autor Antonio Creus en el prólogo de su libro menciona que,

Los instrumentos de medición y control son ampliamente utilizados en la industria. En líneas generales, el porcentaje económico que ocupan en la inversión de una planta de proceso varía desde un 3% en plantas con poca instrumentación hasta un 8% - 10% en plantas totalmente automatizadas. De aquí que sea importante que los instrumentos estén en perfecto estado de funcionamiento, afín de evitar paros parciales o totales en la planta o reducir, al máximo, el coste del mantenimiento. (2009)

Si bien es cierto que lo acotado por el autor es importante aún falta definir que es un equipo de medición según el mismo autor “Un instrumento de medición es un dispositivo utilizado para comparar proporciones o magnitudes con un patrón o estándar establecido previamente. Estos instrumentos son responsables de facilitar la comparación entre el objeto a medir y el patrón, generando un valor numérico que representa esta relación de manera lógica” (Creus, 2009, p. 18).



Figura 16. Rotámetro Krohne.

Fuente: -Obtenido-de-<https://krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalimetros/caudalimetros-de-area-variable>



Figura 17. Rotámetro Krohne, utilizado en el Laboratorio de Flujo de Agua.

Fuente propia.

#### **2.41 Duración de las actividades**

Un aspecto importante a considerar para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo es el cálculo de la carga de trabajo que generaría de más en las labores en el laboratorio de hidrómetros, ya de por sí que es elevada la misma, en dos vías principalmente, la primera de estas sería el costo económico que dicha puesta en funcionamiento del plan de mantenimiento preventivo generaría para el departamento en cuanto a los tiempos requeridos, ya sea porque parte de que los mismo trabajadores del laboratorio sean los encargados o bien si se decide por una tercerización de los servicios, aunado a esto el costo de capacitación del personal como ya se ha comentado anteriormente en este trabajo.

Por otra parte, y no menos importante la disminución en el procesamiento de pruebas volumétricas por reclamo que llegan a este establecimiento debido a que es la única dependencia

dentro de todo el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado que se encarga de las pruebas. Debido a lo anterior es que se debe generar un dato que se tome como referencia para la programación de las diferentes actividades y también como una forma de medir el costo de este.

Para dicho calculo se utilizará el llamado método PERT, según Enrique Castello en 1997 en su libro “Programación y control por el método PERT”, en la página 27, donde explica el método PERT como:

El método PERT, en sus distintas manifestaciones y aplicaciones, pretende optimizar, desde el punto de vista económico, la ejecución de un proyecto. El análisis que este método realiza revela la existencia de un camino crítico, cuya duración condiciona la ejecución de todo el proyecto, siendo una nueva aplicación del PERT el estudio económico de la reducción del camino crítico, es decir, el acortamiento de la ejecución del proyecto. Las finalidades del PERT son las siguientes:

1. Conocimiento del tiempo de ejecución del proyecto y de todas las actividades que lo integran (PERT-Time).
2. Mejoramiento u optimización en la ejecución del proyecto y en el empleo de los medios disponibles, así como criterios de incorporación de nuevos recursos (PERT-Cost).
3. Control de la ejecución del proyecto (PERT-Control).

Según esta explicación se puede la idea de este método es convertir actividades especificar en tiempo, todo esto gracias a la formula PERT, la cual consiste en tres datos, esto lo explica Castello:

El método PERT original utiliza en realidad tres estimaciones de la duración de las actividades: la optimista ( $t_o$ ), la pesimista ( $t_p$ ) y la normal o más probable ( $t_n$ ). El tiempo optimista supone una estimación de lo que va a durar la realización de una actividad, en condiciones óptimas. Por el contrario, en la estimación del tiempo pesimista se supone que existirán condiciones desfavorables de la ejecución de la actividad, y, por último, el tiempo más probable es aquel que la experiencia indica o que responde a unas circunstancias que se consideran normales, indudablemente ha de verificarse que  $t_o \leq t_n \leq t_p$ . Las estimaciones de las duraciones las obtendrá

el analista PERT de las personas que tienen la responsabilidad de efectuar el trabajo que representan las actividades. (Castello, 1997, p.30)

La fórmula utilizada se llama “Formula PERT beta, y es la siguiente:

$$T_e = \frac{T_o + 4T_n + T_p}{6}$$

Ecuación 1. Formula PERT.

Donde:

Te: Tiempo estimado.

To: Tiempo optimo

Tn: Tiempo normal

Tp: Tiempo pésimo

## 2.42 Indicadores Financieros

Entre los indicadores financieros que sirven para clarificar la factibilidad económica que presentan los proyectos se encuentran el VAN y la TIR. Aunque para este trabajo se estará usando el indicador CAUE.

VAN = Valor Actual neto.

TIR = Tasa Interna de Retorno.

Valor Actual Neto

El VAN mide la deseabilidad de un proyecto en términos absolutos. Calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital como consecuencia del proyecto. (Rocabert, 2007).

El Valor Actual Neto (VAN) es el método más conocido para evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Actual Neto nos permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. (Revelo, 2018). La fórmula del Valor Actual Neto es:

Ecuación 2. Fórmula para calcular VAN.

$$VAN = -A + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Donde:

A: Inversión Inicial

F: Flujo de pago

i: Tasa de interés. (Revelo, 2018)

Mediante el estudio y aplicación del VAN a un proyecto de inversión se proporciona una herramienta cuantitativa al director financiero para que respalde su decisión y halle una disminución del riesgo, puesto que el valor presente neto utiliza una tasa que representa al mismo, brindándole un nivel de seguridad satisfactorio para invertir, y disponer a dirigir actividades, recursos, materiales, talento humano, y todo lo pertinente para llevar a cabo dicho proyecto. (Orlando, 2016)

Es aquí donde radica la importancia del VAN en que, a pesar de ser un valor positivo, le presenta al empresario una expectativa, y responde si es o no conveniente, porque el negocio es confiable, pero ¿conviene? Y eso es lo que muchos inversionistas quieren saber. Entonces la aplicación del y estudio del VAN resulta eficaz para que se aprecie tal situación y determinar si es conveniente invertir. (Orlando, 2016)

### **2.43 Tasa Interna de Retorno**

La TIR, expresa el crecimiento del capital en términos relativos y determina la tasa de crecimiento del capital por período (Rocabert, 2007).

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0. El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquél. (Mete, 2014)

Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento que es la cifra interna o intrínseca del proyecto. Es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquél. (Mete, 2014)

La fórmula de la Tasa Interna de Retorno es:

Ecuación 3. Fórmula para calcular TIR.

$$TIR = i_1 + \frac{[(i_2 - i_1) * (VAN_1)]}{[ABS * (VAN_2 - VAN_1)]}$$

Donde:

$i_1$  = Tasa de interés con el VAN positivo.

$i_2$  = La tasa de interés con el VAN negativo.

$VAN_1$  = Valor actual neto positivo.

$VAN_2$  = Valor actual neto negativo.

ABS = Valor absoluto de los VAN, esto sin tener en cuenta el signo negativo (Ross, Zesterfield, & Jaffe, 2010).

Resulta importante porque se puede enfocar en la ganancia o también se puede saber si se va a ganar o perder. Sin embargo, su importancia permite conocer en forma rápida la liquidez de la empresa, entregando una información clave que ayuda a tomar decisiones tales como, ¿Cuánto se puede comprar de mercadería? ¿Se puede comprar al contado o es necesario solicitar crédito? ¿Se debe cobrar al contado o es posible otorgar crédito? ¿Se puede pagar las deudas en su fecha de vencimiento o se debe pedir un refinanciamiento? ¿Se puede invertir el excedente de dinero en nuevas inversiones? (Dolores, 2016)

En general es posible concluir que el VAN es una herramienta que permite conocer cuánto vale una inversión en el futuro. Además, cuando es positivo indica que, dadas las circunstancias de la demanda, inflación, riesgo que tiene el proyecto y todo el entorno económico se obtiene rentabilidad, es decir, que el proyecto es atractivo. En el caso contrario si se tiene un VAN negativo no se debe considerar válida dicha inversión, por lo que se debe considerar la inversión que tenga un valor actual neto positivo.

La TIR indica la rentabilidad promedio que genera el capital que permanece invertido en el proyecto. Entonces se puede afirmar que un proyecto de inversión resulta factible financieramente cuando en todo momento provee saldos positivos, o sea, si existe suficiente dinero para financiar los gastos de la inversión que implica si se va a poner en marcha o no la operación.

#### 2.44 Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

Para evaluar y comparar las alternativas de ahorro (propuesta retadora) frente a la situación actual (defensora), se calcula el costo anual uniforme equivalente (CAUE) del cada activo retador versus el CAUE de lo actual.

El CAUE significa que todos los ingresos y desembolsos, deben convertirse en una cantidad anual uniforme equivalente (es decir, una cantidad al final del período) que es la misma cada período. La ventaja principal de este método sobre los otros es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo cuando las alternativas tienen diferentes vidas útiles. Es decir, el CAUE de una alternativa debe calcularse para un ciclo de vida solamente.

El método para calcular el CAUE se denomina “método del fondo de amortización de salvamento”. En el método del fondo de amortización de salvamento, el costo inicial (P) se convierte primero en un costo anual uniforme equivalente utilizando el factor A/P. El valor de salvamento, después de su conversión a un costo uniforme equivalente, mediante el factor A/F (fondo de amortización), se resta del costo anual equivalente el primer costo. Los cálculos pueden presentarse mediante la ecuación general:

Ecuación 4.. Fórmula para calcular CAUE.

$$CAUE = VAN * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}$$

Naturalmente, si la alternativa tiene otro flujo de caja, debe incluirse en los cálculos del CAUE.

Donde:

VAN: Valor actual neto

n: plazo de tiempo

i: Tasa de interés

Para la comparación de la situación actual frente a las posibles alternativas de soluciones hay que tener en cuenta que los valores como el valor de salvamento (VS), costo inicial (P) y costo anual de operación (CAO), pueden ser todos diferentes de los datos originales. Esto no importa puesto que se utiliza el punto de vista del consultor y así se considera que la información previa no es aplicable a la actual evaluación económica.

Para las propuestas de solución el costo inicial (P) es el costo de los materiales esenciales para la puesta en marcha del proyecto y, además, la mano de obra que se necesita para instalar

estas tecnologías. El valor de salvamento (VS) es el valor de canje o de reventa que puede tener el activo al cabo del horizonte de planificación, el horizonte de planificación (n) es la cantidad de tiempo en cual va a ser evaluado el proyecto, el costo operacional anual (CAO) es el costo anual por operar que para el caso de este proyecto se considera el costo por iluminar y la mantención que implican las tecnologías.

### CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Tabla 1. Matriz de conceptualización: Investigación con enfoque cuantitativo.

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Identificar las actividades del laboratorio.	Actividades del laboratorio.	Tipos de actividades.	Proceso para identificar las distintas labores que se desarrollan en todo el proceso del tratamiento de los medidores para pruebas.	Se harán inspecciones sobre las actividades del laboratorio.	Los métodos establecidos para la gestión del laboratorio de flujo de agua.
Elaborar rutinas de un plan de mantenimiento preventivo.	Tareas por realizar.	El alcance de la rutina.  Cantidad de tareas completadas.	Las rutinas preventivas contienen tareas que se realizan fácilmente y con un cronograma establecido.	Según la información técnica y según el historial se determinarán las actividades a realizar en los mantenimientos	Formularios de inspección.
Recolección de información técnica de los equipos.	Fichas técnicas y manuales de operación.	Estado del equipo.	La recolección de la información es necesaria en esta fase para poder	Se solicitar fichas técnicas y manuales de operación a los proveedores de los equipos	Revisar manuales adquiridos y comunicación electrónica con el proveedor.

			procesarla y así determinar las tareas a realizar y con que frecuencias hay que realizarlas		
Clasificar equipos	Colección de datos.	Criticidad del equipo.	Ponderación y calificación de los equipos de acuerdo con su criticidad.	Se realizará un análisis de criticidad a cada uno de los equipos.	Apoyo bibliográfico.
Análisis financiero.	Costos económicos.	CAUE	Costo Anual Uniforme Equivalente.	Determinar el método que corresponda para calcular dicho costo.	Establecer los costos.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

### **3.2 Estado actual**

#### **3.2.2 Organigrama operativo**

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados al ser una institución pública se compone de un organigrama sumamente complejo, para el caso de este trabajo final de graduación se va a centrar en la Unidad Ejecutora de Negocios - Investigación y Desarrollo (UEN-ID), perteneciente a la Sub-Gerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo. En dicha unidad ejecutora se encuentra la Dirección de Desarrollo Tecnológico, donde está ubicado el Laboratorio de Flujo de Agua. Dada la situación actual de la institución dicho organigrama presentado a continuación puede estar sujeto a cambios, reestructuraciones y otras situaciones ajenas a la presentación, desarrollo y propuestas de este trabajo final de graduación.

#### **3.2.3 Actividades del Laboratorio Nacional de Flujo de Agua**

Dada las implicaciones tanto técnicas como de calidad dentro del laboratorio, se identifican tres vertientes de acuerdo con las funciones que desempeñan las personas trabajadoras, por parte del área técnica, área de gestión de la calidad y área administrativa. Con respecto a esta propuesta de mantenimiento se ven afectadas las tres áreas de trabajo, donde cada una de ellas desarrolla las siguientes actividades, por lo cual es necesario identificar sus funciones para poder así tener un panorama claro sobre las actividades:

Área técnica: Tal como se mostrará en la figura 19, esta área está formada por un encargado o jefe técnico, dicha función la cumple un ingeniero mecánico, por otra parte, está compuesta por un sistematizador, encargado de la sistematización de los resultados de las pruebas en un programa interno de la institución llamado OPENSCI. También se compone de tres analistas destacados usualmente en los bancos N°1, N°2, N°3, se dice usualmente porque dependiendo del volumen de trabajo, una pareja de analistas se encarga de la ejecución de una prueba a un hidrómetro de DN50 o mayor diámetro. Agregado al equipo de trabajo antes mencionado, posee un encargado de la apertura de los medidores que se deben abrir, tal y como se menciona en el apartado 2.39 - Prueba Volumétrica.

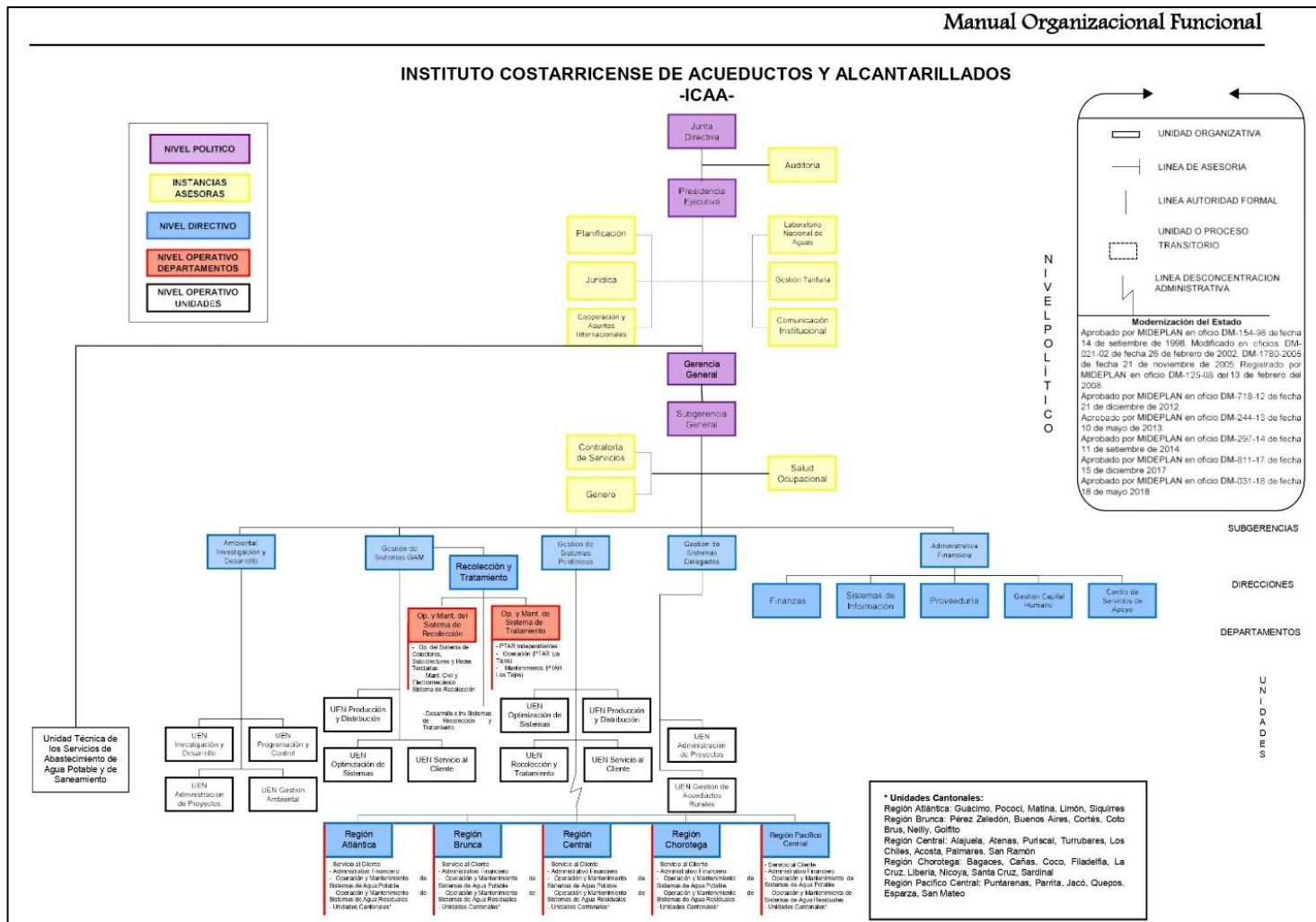


Figura 18. Organigrama del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Fuente: Manual Organizacional Funcional. (2018)

En cuanto a las actividades desempeñadas por esta área, se afirma que es la encargada de lo concerniente a la realización de las pruebas volumétricas, tanto el jefe técnico como los analistas, a partir de su criterio, toman las decisiones sobre que medidores son aptos o no para probar, por otro lado también tienen como función la emisión de los certificados de las pruebas volumétricas y su explicación técnica, debido a que en ocasiones dichos documentos son utilizados en procesos judiciales, por otro lado se encarga de determinar el daño que posee el medidor de acuerdo al resultado de la prueba volumétrica, tal y como se explica en el apartado 2.39 – Pruebas Volumétricas.

Área de la Gestión de la Calidad: Entre sus diferentes actividades tiene como principal función velar por que las pruebas realizadas por los analistas cumplan con los parámetros establecidos por la Norma ISO17025 y los métodos establecidos por dicha área para una eficiente aplicación del proceso de acreditación, se encuentra compuesta por el receptor, que tiene como función el procesamiento del ítem, llamado así el medidor una vez incorporado al flujo de trabajo del laboratorio, tanto su recepción, etiquetado, elaboración del expediente y procesamiento de desechos, aunado a esta persona se encuentra la actividad de asistente de calidad, directamente vinculado a la fiscalización de las pruebas y posibles errores de aplicación del método, por último se encuentra el encargado de la acreditación, dicha persona tiene como función principal la elaboración de documentos y procesos que serán aplicados en el modelo de gestión de la calidad del laboratorio de flujo de agua, tiene una injerencia sustancial en la mayoría de puestos debido a su responsabilidad.

Área administrativa: Esta área tiene como función principal y la que más importa para el laboratorio, la cual es la gestión del presupuesto anual del mismo, aparte de las diferentes actividades que comúnmente hacen este tipo de área/departamento, tal como la gestión de permisos, incapacidades, vacaciones, extras, etc...

Este desglose de actividades sirve para que en los siguientes capítulos se pueda hacer la propuesta de cuales áreas y por ende que puesto sería el encargado de las diferentes actividades del plan de mantenimiento preventivo.

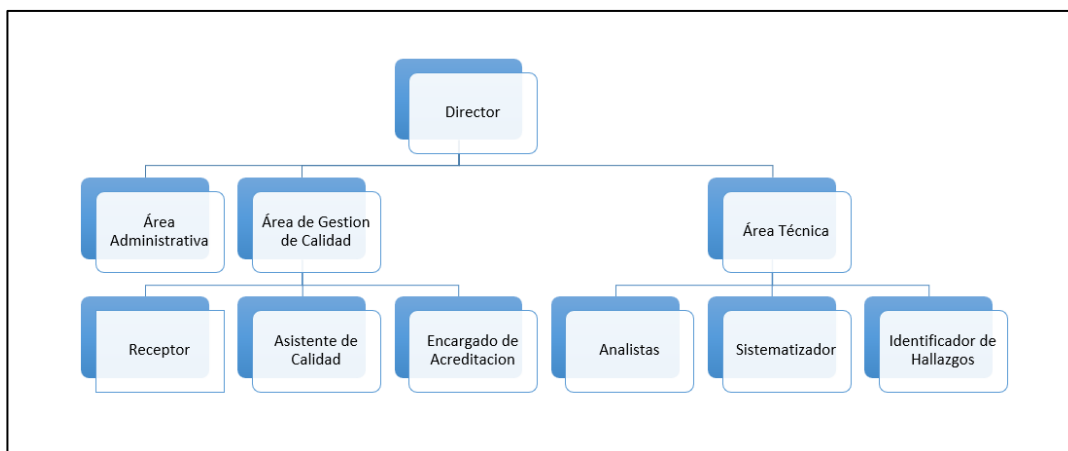


Figura 19. Organigrama de funciones del Laboratorio Flujo de Agua.

Fuente: Elaboración propia

Es importante dejar claro que tanto la recopilación de la información de los equipos, como el análisis de criticidad fueron llevados a cabo en el sitio, con la información proporcionada por las fichas técnicas de los equipos, contrastada con requerimientos solicitados por la jefatura, debido a las necesidades expresadas por los encargados de cada área, específicamente la técnica y de gestión de la calidad. Por otra parte, la información derivada de las matrices utilizadas por los colaboradores del laboratorio es parte fundamental de este trabajo, ya que los datos que arroja son sumamente específicos en cuanto a la duración de las pruebas como también el volumen de trabajo promedio por año de cada banco de pruebas.

### 3.2.4 Inventario

Para el caso del Laboratorio de Flujo de Agua se da la particularidad de que no hay un plan de mantenimiento previo, por lo que hay que tomar varias situaciones en cuenta, en primera instancia lo más parecido que se ha hecho a un plan de mantenimiento, es que por costumbre, o por buena práctica interna, cada año se debe hacer una calibración y verificación de los equipos de medición que tienen injerencia con la calibración de los hidrómetros, en dicho plazo, aproximadamente de dos semanas, se le realiza una especie de “mantenimiento” a los equipos pero un ámbito más estético que mecánico, es decir se aprovechaba dicho paro de labores para aplicar productos aislantes a las bancadas, limpieza a las tuberías de suministro de agua, verificación del torque de tornillos, sustitución de tuercas con oxidación, entre otros, pero no se interviene las bombas de suministros, los tableros, entre otros.

Esta situación genera una falsa sensación de mantenimiento preventivo en los equipos siendo más bien una intervención de índole estética, dichas tareas realizadas por el personal operativo del laboratorio (analistas). Por otra parte, no se puede saber con certeza cual es el estado actual de los diferentes equipos debido a que como no existe plan de mantenimiento preventivo previo, no hay intervenciones recientes a ninguno de estos, por lo cual al momento de la implementación del plan de mantenimiento no se puede afirmar que se encuentren condiciones óptimas o no, esto provocaría que se tuviera que recurrir a otro tipo de mantenimiento, por ejemplo, del tipo “puesta a punto” previo a la implementación de esta propuesta, para que el impacto del mantenimiento preventivo tenga una injerencia real en el funcionamiento de los equipos del laboratorio.

Se llevo a cabo una recolección en sitio de la información concerniente a las máquinas y sus componentes, dicha recopilación se hizo para segmentar los equipos, obtener información valiosa para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo y como punto de partida para una gestión del mantenimiento de una manera más ordenada y estandarizada. Dadas las condiciones del Laboratorio de Flujo de Agua se hizo una división de este por zonas, dicha sectorización se hace con base a dos criterios, en primera instancia la ubicación espacial de la maquina en el laboratorio y por otro lado la utilidad del equipo para el funcionamiento, las zonas son las siguientes:

- Zona del Banco 1
- Zona del Banco 2
- Zona del Banco 3
- Zona del Banco 4
- Zona del Banco 5
- Zona de Equipo de Apoyo

En las siguientes tablas se mostrará cuáles son los elementos que componen cada una de las zonas anteriormente definidas:

Tabla 2. Inventario de la zona de equipo del Banco N°1.

Banco 1					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
Válvula Neumática	Medición	7	Genebre	GN05S2	ZB1

Panel de Control	Electromecánico	3	Legrand	IP68	ZB1
Termocupla	Medición	2	Siemens	SITRANS TH100	ZB1
Válvula Solenoide	Electromecánico	2	GENEGRE	4030-31	ZB1
Tanque Hidroneumático	Electromecánico	1	Pearl	MNP100V	ZB1
Balanza	Medición	1	Mettler Toledo	ICS439	ZB1
Manómetro	Medición	2	Ashcroft	T6500	ZB1
Caudalímetro	Medición	3	Endress Hauser	PROMAG H100	ZB1
Bancada	Electromecánico	1	Aquatek	NA	ZB1
Filtro de Agua	Electromecánico	1	ONE	EF-835-1	ZB1
Bomba	Electromecánico	1	SAER	M94	ZB1
Bomba	Electromecánico	1	LEO	XKS-500P	ZB1
Bomba	Electromecánico	1	PEARL	4PWP18	ZB1



Figura 20. Distribución de los componentes en el Banco N°1.

Fuente propia.

Según la figura anterior la distribución del banco de pruebas N°1:

1. Bomba de recirculación
2. Tanque hidroneumático
3. Panel de control de potencia
4. Bomba sumergible de presión constante
5. Panel de control
6. Válvula Neumática
7. Bancada
8. Balanza
9. Panel de control HMI
10. Caudalímetro
11. Filtro de agua.

Tabla 3. Inventario de la zona de equipo del Banco N°2.

Banco 2					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
Rotámetro	Medición	1	Omega	FLDW311G	ZB2
Rotámetro	Medición	2	Krohne	VA40 V/R	ZB2
Válvula Neumática	Electromecánico	1	Bray	9239	ZB2
Bancada	Electromecánico	1	Ford	Indianápolis	ZB2
Manómetro	Medición	2	Wika	111.12	ZB2
Panel de Control	Electromecánico	1	Legrand	IP68	ZB2
Termómetro	Medición	1	Fluke	1551A	ZB2
Balanza	Medición	1	Tscale	RWS-SPB-2430-30	ZB2

Filtro de Agua	Electromecánico	1	Hydronix	SPC-25-2005	ZB2
Banco de Ecurrido	Electromecánico	1	NA	NA	ZB2



Figura 21. Distribución de los componentes en el Banco N°2.

Fuente propia.

Según la figura anterior la distribución del banco de pruebas N°2:

1. Rotámetros
2. Válvula Neumática
3. Panel de control
4. Bancada
5. Manómetro
6. Filtro de agua.

Tabla 4. Inventario de la zona de equipo del Banco N°3.

Banco 3					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
Rotámetro	Medición	1	Omega	FLDW311G	ZB3
Rotámetro	Medición	2	Krohne	VA40 V/R	ZB3
Termómetro	Medición	1	Fluke	1551A	ZB3
Bancada	Electromecánico	1	Ford	Indianápolis	ZB3
Panel de Control	Electromecánico	1	Legrand	IP68	ZB3
Manómetro	Medición	2	Wika	111.12	ZB3
Filtro de Agua	Electromecánico	1	Hydronix	SPC-25-2005	ZB3
Válvula Solenoide	Electromecánico	1	Asco	8210G004	ZB3
Balanza	Medición	2	GSC	1260	ZB3
Banco de Escurrido	Electromecánico	1	NA	NA	ZB3

Tabla 5. Inventario de la zona de equipo del Banco N°4.

Banco 4					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
Balanza	Medición	1	Rice Lake	IQ-355-2A	ZB4
Manómetro	Medición	1	Wika	111.12	ZB4
Bancada	Electromecánico	1	Ford	Ackron	ZB4
Caudalímetro	Medición	2	Integra	Topas Sonic	ZB4
Termómetro	Medición	1	Vaisala	PTU300	ZB4
Válvula Solenoide	Electromecánico	1	Asco	8210G004	ZB4
Panel De Control	Electromecánico	1	Legrand	IP68	ZB4



Figura 22. Distribución de los componentes en el Banco N°4.

Fuente propia.

Según la figura anterior la distribución del banco de pruebas N°4:

1. Bancada
2. Balanza
3. Panel de control
4. Manómetro
5. Caudalímetros digitales

Tabla 6. Inventario de la zona de equipo del Banco N°5.

Banco 5					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
Manómetro	Medición	1	ASHCROFT	8008	ZB5
Bancada	Electromecánico	1	ARAD	NA	ZB5
Caudalímetro	Medición	1	ARAD	OCTAVE	ZB5
Panel De Control	Electromecánico	1	NVVENT	5618140	ZB5

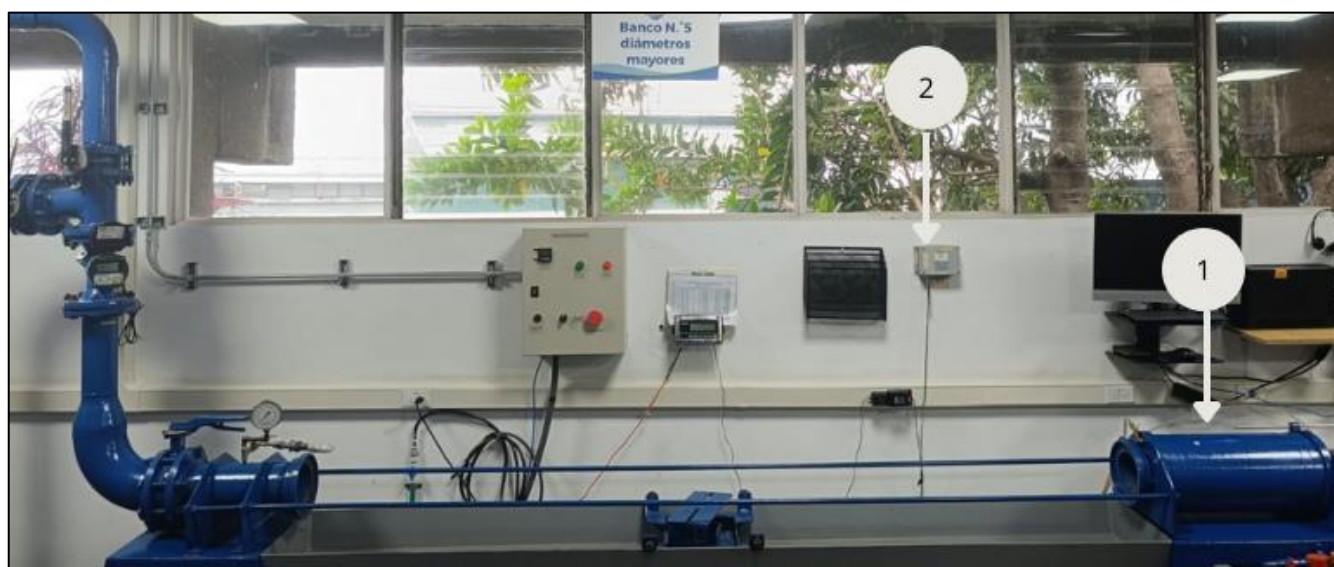


Figura 23. Distribución de los componentes en el Banco N°5 (Parte 1)

Fuente propia.



Figura 24. Distribución de los componentes en el Banco N°5 (Parte 2).

Fuente propia.

Según la figura anterior la distribución del banco de pruebas N°5:

1. Bancada
2. Termohigrómetro
3. Caudalímetros
4. Manómetros

Tabla 7. Inventario de la zona de equipo de apoyo.

Zona de Equipo de Apoyo					
Equipo	Tipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación
A/C	Electromecánico	1	Innovair	Vortex	ZEA
A/C	Electromecánico	3	Carrier	Xpowerblue 3	ZEA
Balanza	Medición	1	Oconny	MBW-300K	ZEA

Bomba	Electromecánico	2	Goulds Pumps	G29314	ZEA
Bomba	Electromecánico	1	Lubi	Lcr65/7	ZEA
Compresor	Electromecánico	1	Porter Cable	C7550	ZEA
Maquina Hidráulica	Electromecánico	1	Arad	NA	ZEA
Tablero	Electromecánico	4	Eaton	PB424ML225S	ZEA
Iluminación	Electromecánico	36	Philips	DN572B	ZEA
Iluminación	Electromecánico	3	Sylvania	P24336	ZEA
Manómetro Comparador	Medición	1	Fluke	700g27	ZEA
Tomacorrientes	Electromecánico	47	Eagle	Doble GFCI NEMA 5-15R 2P3W	ZEA
Baño de Bloque Seco	Medición	1	Fluke	9142	ZEA

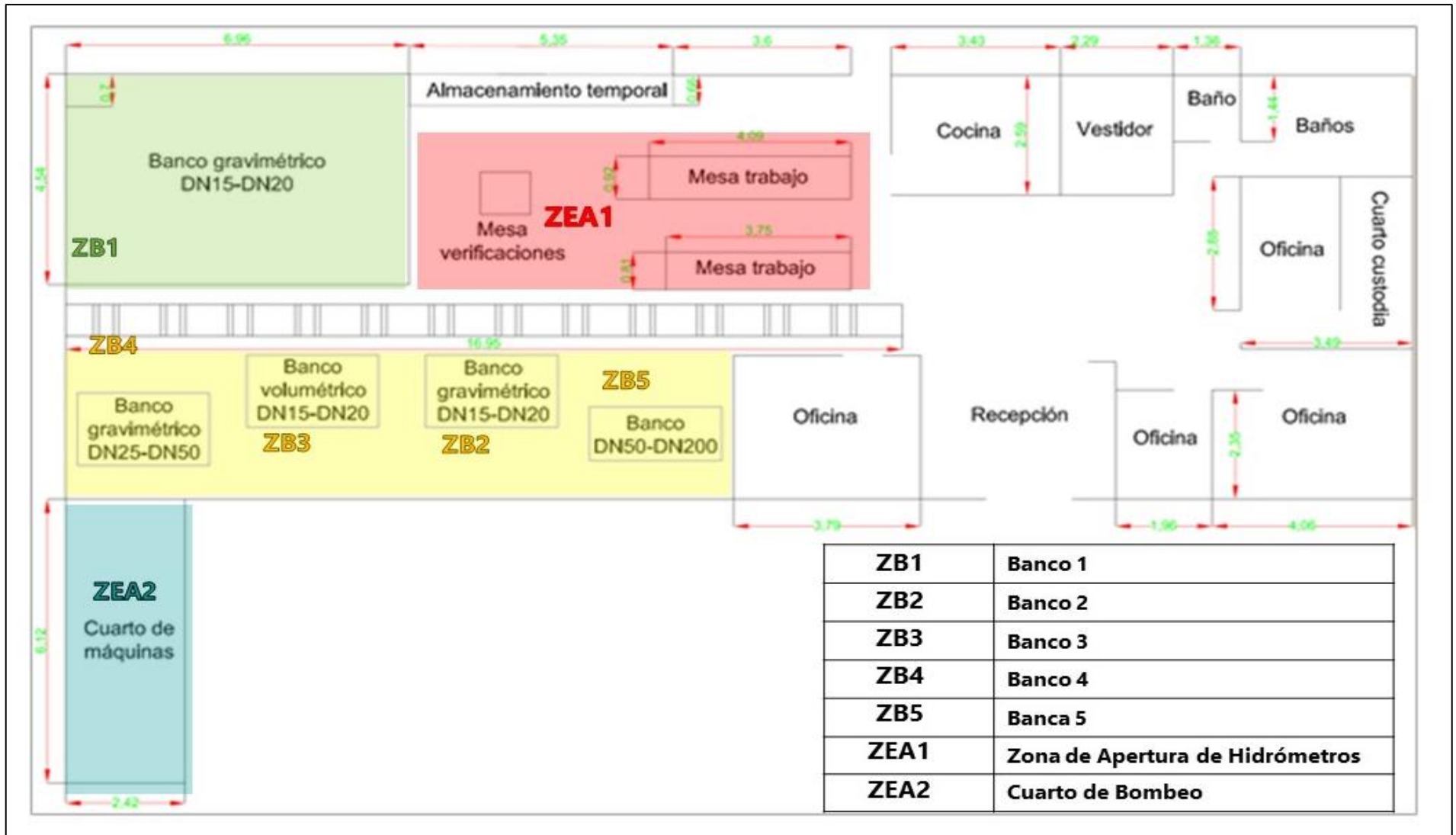


Figura 25. Croquis del Laboratorio de Flujo de Agua y su respectiva distribución.

Fuente: Manipulación de Ítems para calibración, LFA-5-P (Vásquez, 2023).

### 3.3 Desarrollo

#### 3.3.2 Codificación de equipos

La elaboración y estandarización de un código de identificación de los equipos y sus partes, tiene como meta procurar una fácil ubicación de los activos del laboratorio con un código que brinde información a primera vista, esta puede ser de ubicación, función, criticidad, nombre, entre otros, pero también para una gestión homogénea de los diferentes componentes que integran los distintos aparatos que se encuentran en el laboratorio. Dicha codificación se va a instaurar a partir de la información recopilada en el inventario de equipos.

De acuerdo con lo anterior, se elaboró una tabla con una parte del código, dicha tabla identifica a los diferentes dispositivos por las iniciales, por otra parte, cabe resaltar que la información recopilada en el inventario no proporciona una codificación como tal, la mezcla de tres características es de las que se deriva el ID (por sus siglas en inglés identification document). Por lo tanto, la secuencia que se compone por las siglas de la ubicación del componente, las siglas del nombre del equipo y el consecutivo, es lo que forma el ID del equipo como tal. Para el caso de los tomacorrientes la codificación permanece tal y como está determinada en los tableros eléctricos para no modificar las tablas de información en los tableros y las etiquetas en cada tomacorriente.

Tabla 8. Abreviatura de los diferentes equipos para la codificación.

<b>Equipo</b>	<b>Iniciales</b>
Rotámetro	ROT
Bomba	BOM
Compresor	COM
Válvula Solenoide	VAS
Válvula Neumática	VAN
Termómetro	TER
Balanza	BAL
Bancadas	BAN
Caudalímetro	CAM
Medidor de Condiciones Ambientales	MCA
Tableros	TAB

Panel de Control	PAC
Manómetro	MAN
Maquina Hidráulica	MAH
Luminarias	LUM
Aire Acondicionado	ACO
Filtro de Agua	FIA
Tanque Hidroneumático	THI
Banco de escurrido	BES

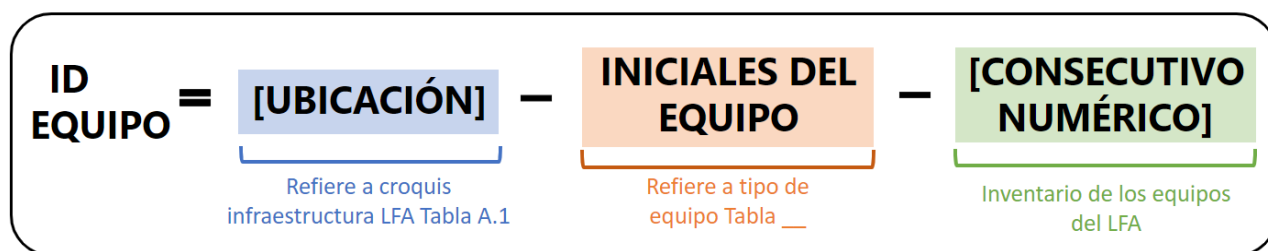


Figura 26. Modelo de codificación del Laboratorio de Flujo de Agua.

Fuente: Manipulación de Ítems para calibración, LFA-5-P (Vásquez, 2023).

A partir de la imagen anterior y tomando de ejemplo el compresor, tal y como se indica en el inventario se encuentra en la zona de equipo de apoyo, de acuerdo con la tabla 8, las iniciales de este son COM y por último el consecutivo, dado que en este caso es el primero sería el 01. Como resultado se obtiene el siguiente ID de equipo:

ZEA-COM-01

Tomando como base el ejemplo anterior se procede a la confección de la tabla de equipos con sus respectivos ID:

Tabla 9. Codificación de cada equipo.

ID	Equipo	Ubicación	Iniciales	Consecutivo
ZB1-VAN-02	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN15	ZB1	VAN	2
ZB1-VAN-03	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN20	ZB1	VAN	3

ZB1-VAN-04	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN25	ZB1	VAN	4
ZB1-VAN-05	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN25	ZB1	VAN	5
ZB1-VAN-06	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN25	ZB1	VAN	6
ZB1-VAN-07	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN25	ZB1	VAN	7
ZB1-VAN-08	Válvula Neumática GENE BRE GN05S2 DN25	ZB1	VAN	8
ZB1-BOM-04	Bomba SAER Centrifuga 0.5hp	ZB1	BOM	4
ZB1-BOM-05	Bomba LEO Sumergible 0.7hp	ZB1	BOM	5
ZB1-BOM-06	Bomba PEARL Presión Constante 2hp	ZB1	BOM	6
ZB1-PAC-05	Panel de control HMI Legrand IP68	ZB1	PAC	5
ZB1-PAC-06	Panel de control 24V Legrand IP68	ZB1	PAC	6
ZB1-PAC-07	Panel de control Potencia Legrand IP68	ZB1	PAC	7
ZB1-TER-03	Termocupla SIEMENS SITRANS TH100	ZB1	TER	3
ZB1-TER-04	Termocupla SIEMENS SITRANS TH100	ZB1	TER	4
ZB1-VAS-03	Válvula Solenoide Watts 850T	ZB1	VAS	3
ZB1-VAS-04	Válvula Solenoide Watts 850T	ZB1	VAS	4
ZB1-THI-01	Tanque Hidroneumático PEARL MNP100V	ZB1	THI	1
ZB1-BAN-01	Bancada AQUATEK DN 15-20 10 medidores	ZB1	BAN	1
ZB1-CAM-04	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	ZB1	CAM	4
ZB1-CAM-05	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	ZB1	CAM	5
ZB1-CAM-06	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	ZB1	CAM	6
ZB1-MAN-08	Manómetro ASHCROFT Mod T6500 160 psi	ZB1	MAN	8
ZB1-MAN-09	Manómetro ASHCROFT Mod T6500 160 psi	ZB1	MAN	9
ZB1-FIA-03	Filtro de Agua ONE 3 cartuchos 3/4	ZB1	FIA	3
ZB1-BAL-06	Balanza Meter Toledo ICS439 350KG	ZB1	BAL	6
ZB2-ROT-01	Rotámetro Omega DN15 FLDW311G	ZB2	ROT	1

ZB2-ROT-02	Rotámetro Krohne DN20 VA40 V/R	ZB2	ROT	2
ZB2-ROT-03	Rotámetro Krohne DN25 VA40 V/R	ZB2	ROT	3
ZB2-VAN-01	Válvula Neumática DN 25 Mod-9239	ZB2	VN	1
ZB2-BAN-02	Bancada de Pruebas Ford Indianápolis DN 15-20, 6 Hidrómetros	ZB2	BAN	2
ZB2-MAN-01	Manómetro WIKA 160 PSI	ZB2	MAN	1
ZB2-MAN-02	Manómetro WIKA 160 PSI	ZB2	MAN	2
ZB2-PAC-01	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	ZB2	PC	1
ZB2-TER-01	Termómetro FLUKE 160 °C	ZB2	TER	1
ZB2-BAL-01	Balanza TSCALE 300 KG	ZB2	BAL	1
ZB2-FIA-01	Filtro de Agua HYDRONIX SPC-25-2005	ZB2	FA	1
ZB2-BES-02	Banco de escurrido	ZB2	BE	1
ZB3-ROT-04	Rotámetro Omega DN15 FLDW311G	ZB3	ROT	4
ZB3-ROT-05	Rotámetro Krohne DN20 VA40 V/R	ZB3	ROT	5
ZB3-ROT-06	Rotámetro Krohne DN25 VA40 V/R	ZB3	ROT	6
ZB3-MAN-03	Manómetro WIKA 160 PSI	ZB3	MAN	3
ZB3-MAN-04	Manómetro WIKA 160 PSI	ZB3	MAN	4
ZB3-TER-02	Termómetro FLUKE 160 °C	ZB3	TER	2
ZB3-BAN-03	Bancada de Pruebas Ford Indianápolis DN 15-20, 6 Hidrómetros	ZB3	BAN	3
ZB3-PAC-02	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	ZB3	PC	2
ZB3-FIA-02	Filtro de Agua HYDRONIX SPC-25-2005	ZB3	FA	2
ZB3-VAS-01	Válvula Solenoide Asco DN25 Mod-8210G004	ZB3	VS	1
ZB3-BAL-02	Balanza GSC Mod-1260 150KG	ZB3	BAL	2
ZB3-BAL-03	Balanza GSC Mod-1260 30KG	ZB3	BAL	3
ZB3-BES-02	Banco de escurrido	ZB3	BE	2
ZB4-BAL-04	Balanza Rice Lake IQ-355-2A 1500 KG	ZB4	BAL	4
ZB4-MAN-05	Manómetro WIKA 160 PSI	ZB4	MAN	5

ZB4-BAN-04	Bancada de Pruebas Ford Ackron DN 25-40, 2 Hidrómetros	ZB4	BAN	3
ZB4-CAM-01	Caudalímetro Integra Topas Sonic DN15	ZB4	CM	1
ZB4-CAM-02	Caudalímetro Integra Topas Sonic DN50	ZB4	CM	2
ZB4-MCA-01	Medidor de condiciones ambientales Vaisala PTU 300	ZB4	MCA	1
ZB4-VAS-02	Válvula Solenoide Asco DN50 Mod-8210G004	ZB4	VS	2
ZB4-PAC-03	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	ZB4	PC	3
ZB5-MAN-06	Manómetro ASHCROFT Mod-8008	ZB5	MAN	6
ZB5-BAN-05	Bancada de Pruebas ARAD DN50-200	ZB5	BAN	4
ZB5-CAM-03	Caudalímetro ARAD Octave DN100	ZB5	CM	3
ZB5-PAC-04	Panel de control NVENT	ZB5	PC	4
ZEA-ACO-01	A/C Innovair 36000BTU	ZEA	AC	1
ZEA-ACO-02	A/C Carrier 12000BTU	ZEA	AC	2
ZEA-ACO-03	A/C Carrier 12000BTU	ZEA	AC	3
ZEA-ACO-04	A/C Carrier 12000BTU	ZEA	AC	4
ZEA-BAL-05	Balanza Oconny 300KG	ZEA	BAL	5
ZEA-BOM-01	Bomba Goulds Pumps G29314	ZEA	BOM	1
ZEA-BOM-02	Bomba Goulds Pumps G29314	ZEA	BOM	2
ZEA-BOM-03	Bomba Lubi LCR65/7	ZEA	BOM	3
ZEA-COM-01	Compresor Porter Cable 175 PSI	ZEA	COM	1
ZEA-MAH-01	Maquina Hidráulica ARAD	ZEA	MAH	1
ZEA-TAB-01	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	ZEA	TAB	1
ZEA-TAB-02	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	ZEA	TAB	2
ZEA-TAB-03	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	ZEA	TAB	3

ZEA-TAB-04	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	ZEA	TAB	4
ZEA-LUM-01	Luminaria Cuadrada Phillips	ZEA	LUM	1
ZEA-LUM-02	Luminaria Circular Sylvania	ZEA	LUM	2
ZEA-MAN-07	Manómetro Comparador FLUKE 700g27	ZEA	MAN	7
ZEA-BBS-01	Baño De Bloque Seco FLUKE 9142	ZEA	BBS	1

### 3.3.3 Análisis de Criticidad

Luego de realizar el inventario de los equipos del laboratorio de flujo de agua se debe continuar con el análisis de criticidad, dadas las particularidades del lugar donde se desarrolla este trabajo final de graduación, las actividades aquí desempeñadas y su nivel de importancia para la institución. Dado que el servicio que brinda este departamento y como operan sus diferentes bancos de pruebas, tiene la particularidad de que los elementos que componen dichos bancos son totalmente dependientes uno del otro, ya que su finalidad última es la ejecución del método según los lineamientos internos establecidos para la prueba volumétrica por reclamo de consumo del abonado.

Según lo expuesto en el apartado 2.28 – Análisis de criticidad, se van a definir tres tipos de equipo, los cuales son:

1. Clase A
2. Clase B
3. Clase C

A continuación se mostrara el análisis de criticidad en una tabla, cabe resaltar que se debe hacer la salvedad de que, en primera instancia el criterio “W” (Tiempo de trabajo), no será tomado en cuenta debido a que todos los equipos sin excepción solo tienen un turno en el que son utilizados como máximo, por otro lado el criterio “Q” (Calidad) tampoco será tomado en cuenta, ya que hace referencia a la calidad con la que termina el producto final, haciendo referencia a una planta de producción industrial, en el caso del laboratorio de flujo de agua, no existen nivel de calidad, solo es válido el término “Cumplimiento de parámetros”, por lo tanto, al no ser relevante se elimina dicho criterio de criticidad.

Por otra parte, según el programa de gestión del LFA, al momento de que ingresa un hidrómetro, se tienen cinco días hábiles para su procesamiento completo, por lo tanto, se modificó

el flujo del criterio “D” (Entrega), debido a que la falla de un equipo determinado si puede afectar la “entrega” del resultado. Añadiendo otra observación, resulta claro que ningún equipo que falle en el Laboratorio Nacional de Flujo de Agua causa una afectación sustancial en el medio ambiente, o que un accidente en las instalaciones provoque que se deba avisar a las autoridades, no resulta de mayor importancia el criterio de medio ambiente (E).

Dado que se clasificarán cada uno de los equipos, permitirá que se puedan gestionar los recursos tanto humano como de suministros, esta jerarquización también permite que se puedan establecer los intervalos de los mantenimientos preventivos de cada componente, así como también cuál es su nivel de urgencia en una determinada falla.

Tomando como ejemplo el compresor de aire, se hará pasar este equipo por algoritmo de decisión, tomando en cuenta lo anterior, los criterios relevantes en cuenta son:

1-Seguridad

2-Entrega

3-Fiabilidad

4-Mantenimiento

Primeramente, se evalúa la seguridad del compresor con base a la siguiente clasificación:

- Clase A: Si un fallo puede producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.
- Clase B: Si un fallo pudiera causar daños menores a la gente en el trabajo, mas no producen la ausencia de trabajo.
- Clase C: Si un fallo no genera consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.

Dada la ubicación en la que se encuentra el compresor y su lejanía con las personas colaboradoras es correcto afirmar que el compresor de aire según el criterio de seguridad es “Clase C”.

Se pasa al siguiente criterio, entrega, criterio relacionado con el impacto operacional de un fallo del equipo:

- Clase A: Si un fallo produce un paro en toda la fábrica.
- Clase B: Si un fallo puede dejar sólo una línea de producción parada.
- Clase C: Si un fallo no produce una interrupción significativa de la producción.

Se procede con el análisis, y se determina que según la utilización que se le da al compresor en los bancos N°5, N°2, N°1 y los puntos de consumo por las diferentes zonas del laboratorio el

compresor de aire es “Clase A”, según este análisis y es innecesario continuar con los demás criterios, pero de igual manera se les aplica todos los criterios para generar un análisis más robusto.

Una vez aclarado y explicado lo anterior se tiene que el algoritmo de decisión utilizado para definir la criticidad es el siguiente:

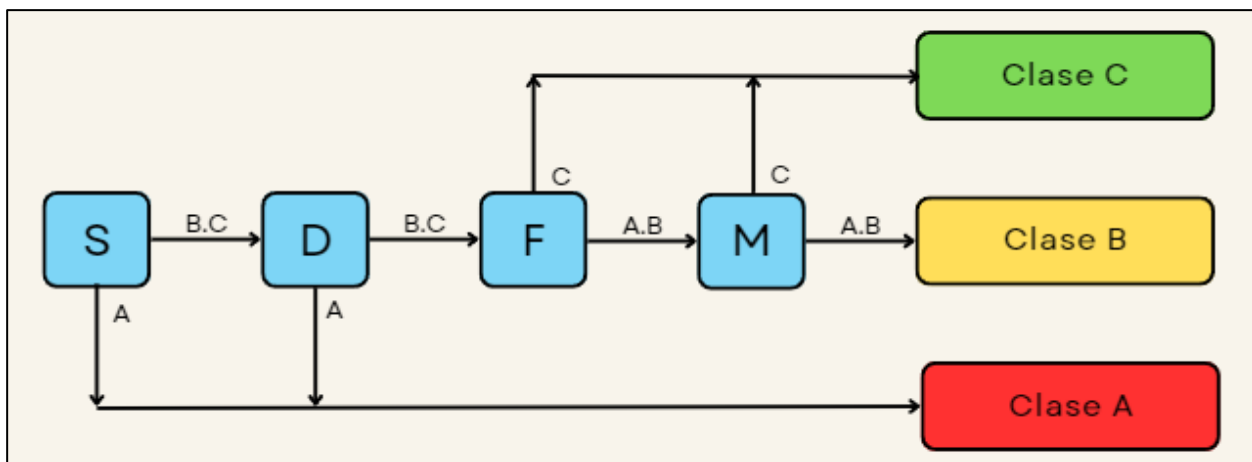


Figura 27. Algoritmo de decisión para el análisis de criticidad.

Fuente propia.

A continuación, se va a determinar el nivel de criticidad de cada equipo con cada criterio según el algoritmo de decisión:

Tabla 10. Análisis de criticidad de cada equipo.

ID	Descripción	Tipo de Equipo	Seguridad (S)	Entrega (D)	Fiabilidad (F)	Mantenibilidad (M)	Clase
ZB1-VAN-02	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN15	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-03	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN20	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-04	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN25	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-05	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN25	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-06	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN25	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-07	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN25	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-VAN-08	Válvula Neumática GENEBRE GN05S2 DN25	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB1-BOM-04	Bomba SAER Centrifuga 0.5hp	Electromecánico	C	A	B	A	A
ZB1-BOM-05	Bomba LEO Sumergible 0.7hp	Electromecánico	C	A	B	A	A

ZB1-BOM-06	Bomba PEARL Presión Constante 2hp	Electromecánico	C	A	B	A	A
ZB1-PAC-05	Panel de control HMI	Electromecánico	C	C	B	A	B
ZB1-PAC-06	Panel de control 24V	Electromecánico	C	C	B	A	B
ZB1-PAC-07	Panel de control Potencia	Electromecánico	C	C	B	A	B
ZB1-TER-03	Termocupla SIEMENS SITRANS TH100	Medición	C	C	C	C	C
ZB1-TER-04	Termocupla SIEMENS SITRANS TH100	Medición	C	C	C	C	C
ZB1-VAS-03	Válvula Solenoide Watts 850T	Electromecánico	C	C	A	B	B
ZB1-VAS-04	Válvula Solenoide Watts 850T	Electromecánico	C	C	A	B	B
ZB1-THI-01	Tanque Hidroneumático PEARL MNP100V	Electromecánico	C	B	C	C	C
ZB1-BAN-01	Bancada AQUATEK DN 15- 20 10 medidores	Electromecánico	C	C	C	A	C
ZB1-CAM-04	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	Medición	C	B	C	A	C
ZB1-CAM-05	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	Medición	C	B	C	A	C

ZB1-CAM-06	Caudalímetro ENDRESS HAUSER PROMAG H100	Medición	C	B	C	A	C
ZB1-MAN-08	Manómetro ASHCROFT Mod T6500 160 psi	Medición	C	C	C	C	C
ZB1-MAN-09	Manómetro ASHCROFT Mod T6500 160 psi	Medición	C	C	C	C	C
ZB1-FIA-03	Filtro de Agua ONE 3 cartuchos ¾	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZB1-BAL-06	Balanza Meteré Toledo ICS439 350KG	Medición	C	C	C	C	C
ZB2-ROT-01	Rotámetro Omega DN15 FLDW311G	Medición	C	C	B	B	B
ZB2-ROT-02	Rotámetro Krohne DN20 VA40 V/R	Medición	C	C	B	B	B
ZB2-ROT-03	Rotámetro Krohne DN25 VA40 V/R	Medición	C	C	B	B	B
ZB2-VAN-01	Válvula Neumática DN 25 Mod-9239	Electromecánico	C	B	C	B	C
ZB2-BAN-01	Bancada de Pruebas Ford DN 15-20, 6 Hidrómetros	Electromecánico	C	C	C	A	C
ZB2-MAN-01	Manómetro WIKA 160 PSI	Medición	C	C	C	C	C
ZB2-MAN-02	Manómetro WIKA 160 PSI	Medición	C	C	C	C	C

ZB2-PAC-01	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	Electromecánico	C	C	B	A	B
ZB2-TER-01	Termómetro FLUKE 160 °C	Medición	C	C	C	C	C
ZB2-BAL-01	Balanza TSCALE 300 KG	Medición	C	C	C	C	C
ZB2-FIA-01	Filtro de Agua HYDRONIX SPC-25-2005	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZB2-BES-01	Banco de escurrido	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZB3-ROT-04	Rotámetro Omega DN15 FLDW311G	Medición	C	C	B	B	B
ZB3-ROT-05	Rotámetro Krohne DN20 VA40 V/R	Medición	C	C	B	B	B
ZB3-ROT-06	Rotámetro Krohne DN25 VA40 V/R	Medición	C	C	B	B	B
ZB3-MAN-03	Manómetro WIKA 160 PSI	Medición	C	C	C	C	C
ZB3-MAN-04	Manómetro WIKA 160 PSI	Medición	C	C	C	C	C
ZB3-TER-02	Termómetro FLUKE 160 °C	Medición	C	C	C	C	C
ZB3-BAN-02	Bancada de Pruebas Ford DN 15-20, 6 Hidrómetros	Electromecánico	C	C	C	A	C
ZB3-PAC-02	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	Electromecánico	C	C	B	A	B
ZB3-FIA-02	Filtro de Agua HYDRONIX SPC-25-2005	Electromecánico	C	C	C	C	C

ZB3-VAS-01	Válvula Solenoide Asco DN25 Mod-8210G004	Electromecánico	C	C	A	B	B
ZB3-BAL-02	Balanza GSC Mod-1260 150KG	Medición	C	C	C	C	C
ZB3-BAL-03	Balanza GSC Mod-1260 30KG	Medición	C	C	C	C	C
ZB3-BES-02	Banco de escurrido	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZB4-BAL-04	Balanza Rice Lake IQ-355-2A 1500 KG	Medición	C	C	C	C	C
ZB4-MAN-05	Manómetro WIKA 160 PSI	Medición	C	C	C	C	C
ZB4-BAN-03	Bancada de Pruebas Ford DN 25-40, 2 Hidrómetros	Electromecánico	C	C	C	A	C
ZB4-CAM-01	Caudalímetro Integra Topas Sonic DN15	Medición	C	B	C	A	C
ZB4-CAM-02	Caudalímetro Integra Topas Sonic DN50	Medición	C	B	C	A	C
ZB4-MCA-01	Termómetro Vaisala PTU 300	Medición	C	C	C	C	C
ZB4-VAS-02	Válvula Solenoide Asco DN50 Mod-8210G004	Electromecánico	C	B	B	A	B
ZB4-PAC-03	Panel de control Legrand IP68 - 50X40	Electromecánico	C	B	B	A	B

ZB5-MAN-06	Manómetro ASHCROFT Mod-8008	Medición	C	C	C	C	C
ZB5-BAN-04	Bancada de Pruebas ARAD DN50-200	Electromecánico	C	B	C	A	C
ZB5-CAM-03	Caudalímetro ARAD Octave DN100	Medición	C	B	C	A	C
ZB5-PAC-04	Panel de control NVENT	Electromecánico	C	B	C	A	C
ZEA-ACO-01	A/C Innovair 36000BTU	Electromecánico	C	C	B	B	B
ZEA-ACO-02	A/C Carrier 12000BTU	Electromecánico	C	C	B	B	B
ZEA-ACO-03	A/C Carrier 12000BTU	Electromecánico	C	C	B	B	B
ZEA-ACO-04	A/C Carrier 12000BTU	Electromecánico	C	C	B	B	B
ZEA-BAL-05	Balanza Oconny 300KG	Medición	C	C	C	C	C
ZEA-BOM-01	Bomba Goulds Pumps G29314	Electromecánico	C	A	C	A	A
ZEA-BOM-02	Bomba Goulds Pumps G29314	Electromecánico	C	A	C	A	A
ZEA-BOM-03	Bomba Lubi LCR65/7	Electromecánico	C	A	B	A	A
ZEA-COM-01	Compresor Porter Cable 175 PSI	Electromecánico	C	A	C	A	A
ZEA-MAH-01	Maquina Hidráulica ARAD	Electromecánico	A	C	B	A	A
ZEA-TAB-01	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	Electromecánico	B	A	C	A	A

ZEA-TAB-02	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	Electromecánico	B	A	C	A	A
ZEA-TAB-03	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	Electromecánico	B	A	C	A	A
ZEA-TAB-04	Tablero de Potencia Eaton 42 / 3F 240V PB424ML225S	Electromecánico	B	A	C	A	A
ZEA-LUM-01	Luminaria Cuadrada Phillips	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZEA-LUM-02	Luminaria Circular Sylvania	Electromecánico	C	C	C	C	C
ZEA-MAN-07	Manómetro Comparador FLUKE 700g27	Medición	C	C	C	C	C
ZEA-BBS-01	Baño de Bloque Seco FLUKE 9142	Medición	C	C	C	C	C

Según la tabla con el análisis de criticidad, se realizó una contabilización de los equipos y se encontró con que hay:

- 12 equipos “Clase A”
- 20 equipos “Clase B”
- 49 equipos “Clase C”

Tabla 11. Nivel de criticidad y frecuencia de mantenimiento.

<b>Nivel</b>	<b>Frecuencia</b>
Clase A	Trimestral
Clase B	Semestral
Clase C	Anual

Tomando en cuenta la tabla anterior la frecuencia de mantenimiento, según el análisis de criticidad, queda de la siguiente manera:

Tabla 12. Frecuencia de mantenimiento por análisis de criticidad.

Tipo de equipo	Frecuencia
Bombas	Trimestral
Tableros	Trimestral
Maquina Hidráulica	Trimestral
Compresor	Trimestral
Aire Acondicionados	Semestral
Válvula Solenoide	Semestral
Rotámetros	Semestral
Panel de Control	Semestral
Bancadas	Anual
Válvulas Neumáticas	Anual
Balanzas	Anual
Filtros de Agua	Anual
Manómetros	Anual

Luminarias	Anual
Caudalímetros	Anual
Termómetro	Anual
Tomacorrientes	Anual
Banco de escurrido	Anual

Para tener más datos en que apoyarse para tomar una decisión se consultaran los manuales de los equipos y las diferentes normas que tienen relevancia para estos equipos, como por ejemplo la norma NFPA 70B con respecto a los tableros eléctricos. Esto con el fin hacer una comparación entre el análisis de criticidad propio y las normas que tienen injerencia en los distintos equipos.

Tabla 13. Frecuencia de mantenimiento por norma y manual.

Tipo de equipo	Frecuencia	Norma
Bombas	Trimestral	Manual del fabricante
Tableros	Trimestral	NFPA 70B, Tabla H.4(f)
Compresor	Trimestral	Manual del fabricante
Aire Acondicionados	Trimestral	ANSI/ ASHRAE 180-2008
Válvula Solenoide	Anual	Manual del fabricante
Rotámetros	Anual	Manual del fabricante
Panel de Control	Semestral	NFPA 70B, Tabla H.2(d)
Bancadas	Anuales	Manual del fabricante
Válvulas Neumáticas	Anual	Manual del fabricante
Balanzas	Anual	NOM-010-SCFI-1994
Filtros de Agua	Anual	Manual del fabricante
Manómetros	Anual	NIST Special Publication 250-39 2009
Luminarias	Semestral	NFPA 70B, Apart. 18.2 (Iluminación)
Tomacorrientes	Anual	NFPA 70B, Apart. 19.3 (Receptáculos)
Termómetros	Anual	Manual del fabricante

Cabe resaltar que en el caso de la maquina hidráulica existe la particularidad de que fue un equipo diseñado y construida a partir de una necesidad específica por lo cual no cuenta con un

manual del fabricante debido a esto se utilizará la frecuencia de mantenimiento preventivo de acuerdo al análisis de criticidad anteriormente desarrollado, por otro lado en el caso de los caudalímetros, al ser digitales y según el fabricante son libres de mantenimiento y que la calibración está sujeta a una alarma que genera el mismo equipo, debido a esto no posee una frecuencia establecida como tal por la casa matriz.

### **3.3.4 Rutinas**

Las rutinas de mantenimiento tienen como objetivo estandarizar a una base común los procedimientos que se llevaran a cabo en cada una de las máquinas y sus diferentes sistemas, pero cabe aclarar que existe actividades comunes que se les deben realizar a los equipos cada día o bien, cada vez que se les vaya a dar uso como lo es la revisión del correcto funcionamiento, inspecciones generales para detectar sonidos extraños, niveles de temperatura, por ejemplo, en el caso del compresor de aire, el fabricante recomienda que se le realice el drenado de agua después de que se use como también que se verifique la existencia de fugas de aceite y aire en el sistema y demás, que si bien es cierto, pueden o no estar en las siguientes rutinas. Otro aspecto a destacar es el hecho de que algunas piezas por su misma naturaleza tienden a desgastarse más rápido que otras y no necesariamente se debe esperar al siguiente mantenimiento preventivo para tomar acción sobre esta particularidad.

Cabe mencionar que al ser un plan de mantenimiento preventivo las actividades que en las siguientes rutinas se muestra son verificaciones, comprobaciones, inspecciones y otras actividades que no necesariamente son invasivas para el equipo, es decir, no requiere una parada significativa para que se realicen dichas actividades, en el caso de que la maquina y/o el componente se averíe antes del mantenimiento próximo se recomienda aplicar el mismo, es decir darle mantenimiento preventivo, en la parada del equipo para asegurarse que tanto la corrección de fallo y como también el estado general de los otros componentes se encuentren en óptimas condiciones.

Una vez implementado el plan de mantenimiento preventivo lo ideal sería que los encargados de los equipos generen una base de datos sobre las fallas que sufren estos equipos comúnmente, por otro lado, dentro de las siguientes actividades se encuentran tanto actividades derivadas de los manuales, como normas técnicas, pero también la pericia del personal a cargo que realizo sus recomendaciones para así poder abarcar la mayor cantidad de puntos de inspección. En cuanto a las UPS presentes el LFA no se les genera rutina debido a que no se pueden manipular ya

que están a cargo del departamento de TI, se consultó al mismo que se podría hacer y un miembro contestó con el correo presente en el apéndice 14 (Respuesta Departamento de TI sobre UPS).

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		Página 1 de 1
	Bombas de agua		N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>

Inspección del Equipo							
Tareas			Si	No	N/A	Observaciones	
Revisión del estado físico de la bomba de agua. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión del funcionamiento de la bomba de agua. (Ruidos y vibraciones) (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del giro del motor eléctrico. (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del torque en las terminales del bobinado. (Corrija de ser necesario)							
Verificación del torque en las terminales de potencia. (Corrija de ser necesario)							
Verificación del funcionamiento de la protección térmica. (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del funcionamiento del sistema de arranque del motor. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de las conexiones a tierra. (Corrija de ser necesario)							
Verifique el funcionamiento de las luces piloto en el panel. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión del estado físico de las tuberías de succión y descarga. (Reporte cualquier anomalía)							
Inspección de indicios de suciedad alrededor de la bomba de agua. (Corrija de ser necesario)							
Inspección del estado de las llaves de paso en las tuberías de succión y descarga. (Sustituya de ser necesario)							
Verifique que la bomba se encuentre inundada. (Reporte cualquier anomalía)							
Inspección el estado de los filtros de succión y descarga. (Sustituya de ser necesario)							
Verificación de la presión de descarga. (Reporte cualquier anomalía)					PSI		
Verificación de la presión de succión. (Reporte cualquier anomalía)					PSI		
Inspección de fugas en la bomba de agua y tuberías. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el empotramiento de la bomba. (Corrija de ser necesario)							
Verifique el nivel de tanque de recirculación. (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación de las siguientes mediciones eléctricas:							
Mediciones eléctricas							
Voltaje			Corriente			Resistencia	
Fase A-B:	V	Fase A-PT:	V	Fase A:	A	U-V	Ω
Fase C-B:	V	Fase B-PT:	V	Fase B:	A	V-W	Ω
Fase A-C:	V	Fase C-PT:	V	Fase C:	A	W-U	Ω
<b>Observaciones generales:</b>							

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_


	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Compresor	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>	
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>	

INSPECCIÓN DEL EQUIPO							
Tareas	Sí	No	N/A	Observaciones			
Verificación de válvula de seguridad (Reporte cualquier anomalía)							
Inspección de indicios de suciedad (Corrija de ser necesario)							
Apunte las horas de uso:	Horas:						
Revisión de pérdidas de aceite (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del nivel de aceite en la bomba.							
Revisión de sonidos y vibraciones anormales (Reporte en caso de una anomalía)							
Verificación del estado del filtro de aire. (Sustituya de ser necesario)							
Verificación del estado de la correa de transmisión (Reporte en caso de una anomalía)							
Verificación del alineado de la polea (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de fugas en la tubería de aire y sus conexiones (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del torque de los pernos del cabezal (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del estado de válvula de retención (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el estado de los manómetros (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación del estado de válvulas de entrada y escape de la bomba del compresor de aire (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación de las siguientes mediciones eléctricas:							
<b>Mediciones eléctricas</b>							
<b>Voltaje</b>		<b>Corriente</b>		<b>Resistencia</b>			
Fase A-B:	V	Fase A-PT:	V	Fase A:	A	U-V	Ω
Fase C-B:	V	Fase B-PT:	V	Fase B:	A	V-W	Ω
Fase A-C:	V	Fase C-PT:	V	Fase C:	A	W-U	Ω
<b>Observaciones generales:</b>							

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

		FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			Página 1 de 1		
		Aires Acondicionados			N° de Versión: 01		
<b>Fecha:</b>		<b>Hora Inicio:</b>		<b>Próxima revisión:</b>			
<b>Encargado:</b>		<b>Hora Finalización:</b>		<b>ID:</b>		<b>Frecuencia:</b> Trimestral	
Tareas				Sí	No	N/A	Observaciones
Inspección del estado físico del evaporador (Reporte cualquier anomalía)							
Inspección del estado físico del condensador (Reporte cualquier anomalía)							
Inspección del estado físico de las tuberías de cobre y sus uniones/soldaduras (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el funcionamiento de la compuesta de distribución de aire (Swing) (Reporte cualquier anomalía)							
Revise el estado de la bandeja de condensado en el evaporador (Corregir de ser necesario)							
Inspección del estado de las cañuelas/aislante de las tuberías (Reporte cualquier anomalía)							
Inspeccione el estado del filtro de aire del evaporador (Corregir de ser necesario)							
Verifique la integridad del sello de la carcasa. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el funcionamiento adecuado del serpentín del evaporador o condensador para detectar daños o evidencia de fugas. (Reporte cualquier anomalía)							
Compruebe el funcionamiento adecuado de la bomba de condensado (Reporte cualquier anomalía)							
Revise la suciedad en el recipiente de la bomba de condensado. (Corregir de ser necesario)							
Inspeccione la válvula de purga o drenaje. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de funcionamiento de la mirilla. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de alimentación a la tarjeta electrónica. (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de funcionamiento de la turbina del evaporador (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de funcionamiento del motor del condensador (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación de fugas de aceite en las uniones Flare (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de indicios de fuga de refrigerante (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de los gusanillos en las válvulas de servicio (Sustituya de ser necesario)							
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)							
Revisión de parámetros eléctricos:							
Amperaje		Voltaje					
Fase A-B	A	Fase A-B	V				
Fase A-C	A	Fase A-C	V				
Fase C-B	A	Fase C-B	V				
Verifique las presiones de trabajo según el refrigerante en uso (Reporte cualquier anomalía)							
Presión de descarga		Presión de succión					
PSI		PSI					
<b>Observaciones generales:</b>							

Firma del técnico: \_\_\_\_\_


Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Balanza	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>		
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>	<b>Frecuencia: Anual</b>	
<b>INSPECCIÓN DEL EQUIPO</b>				
<b>Tareas</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>N/A</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Balanzas</b>				
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)				
Verificar el estado de conexión de la fuente de poder				
Verificar sensibilidad al 25% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:	
Verificar sensibilidad al 50% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:	
Verificar sensibilidad al 75% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:	
<b>Observaciones generales:</b>				

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				Página 1 de 1			
	Banco de Pruebas N° 1			N° de Versión: 01				
<b>Fecha:</b>		<b>Hora Inicio:</b>		<b>Próxima revisión:</b>				
<b>Encargado:</b>		<b>Hora Finalización:</b>						
INSPECCIÓN DEL EQUIPO								
Tareas				Sí	No	N/A	F	Observaciones
<b>Válvula Neumática</b>								
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							S	
Revisión de fugas de aire (Corregir de ser necesario)								
Verificar lubricación del actuador (Corregir de ser necesario)								
<b>Bancada</b>								
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)							A	
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)								
Verificar lubricación del pistón sellante (Corregir de ser necesario)								
Revisión de llaves de paso (Sustituir si es necesario)								
Revisión de empaques (Sustituir si es necesario)								
Revisión de malla filtrante (Corregir de ser necesario)								
<b>Panel de control (Cada panel)</b>								
Verificación de luces piloto (Reporte cualquier anomalía)							S	
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario con producto dieléctrico)								
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)								
Revisión del torque en terminales de tierra (Corregir si es necesario)								
Verificación del estado de los cables (Sustituir si es necesario)								
Revisión del estado externo e interno del gabinete (Reporte cualquier anomalía)								
<b>Válvula Solenoide</b>								
Revisión de indicios de desgaste en vástago actuador (Reporte cualquier anomalía)							T	
Verificación del estado físico de la válvula, cables, bobina y resorte (Corregir de ser necesario)								
Revisión del filtro de entrada (Corregir de ser necesario)								
Verificación de la limpieza de la caja de conexiones (Corregir de ser necesario)								
Verificación de fugas de agua en el cuerpo de la válvula (Corregir de ser necesario)								
<b>Balanzas</b>								
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							A	
Verificar sensibilidad al 25% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
Verificar sensibilidad al 50% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
Verificar sensibilidad al 75% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
<b>Observaciones generales:</b>								

Significado de letras: F (Frecuencia) - A (Anual) – S (Semestral) –T (Trimestral)

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_


	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Banco de Pruebas N° 2	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>			
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>				
<b>INSPECCIÓN DEL EQUIPO</b>					
<b>Tareas</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>N/A</b>	<b>F</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Rotámetros</b>					
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)				S	
Sustitución de juntas de sellado, comprobación de estanqueidad después del procedimiento					
<b>Válvula Neumática</b>					
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)				S	
Revisión de fugas de aire (Corregir de ser necesario)					
Verificar lubricación del actuador (Corregir de ser necesario)					
<b>Bancada</b>					
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)					
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)					
Verificar lubricación del pistón sellante (Corregir de ser necesario)				A	
Revisión de llaves de paso (Sustituir si es necesario)					
Revisión de empaques (Sustituir si es necesario)					
Revisión de malla filtrante (Corregir de ser necesario)					
<b>Manómetro</b>					
N/A					
<b>Panel de control</b>					
Verificación de luces piloto (Reporte cualquier anomalía)					
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario con producto dieléctrico)				S	
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)					
Revisión del torque en terminales de tierra (Corregir si es necesario)					
Verificación del estado de los cables (Sustituir si es necesario)					
Revisión del estado externo e interno del gabinete (Reporte cualquier anomalía)					
<b>Termómetro</b>					
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)					
Revisión del estado de las baterías (Sustituir si es necesario)				A	
Verificar sensibilidad a -25°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)			% de error:		
Verificar sensibilidad a 0°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)			% de error:		
Verificar sensibilidad a 100°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)			% de error:		
<b>Banco de Escurrido</b>					
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)				A	
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)					
<b>Balanzas</b>					
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)					
Verificar sensibilidad al 25% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:	A	
Verificar sensibilidad al 50% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:		
Verificar sensibilidad al 75% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)			% de error:		
<b>Observaciones generales:</b>					

Significado de letras: F (Frecuencia) - A (Anual) - S (Semestral) - T (Trimestral)

Firma del técnico: \_\_\_\_\_


Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			Página 1 de 1				
	Banco de Pruebas N° 3		N° de Versión: 01					
<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>		<b>Próxima revisión:</b>					
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>							
INSPECCIÓN DEL EQUIPO								
Tareas				Sí	No	N/A	F	Observaciones
<b>Rotámetros</b>								
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							S	
Verificar del estado de las juntas de sellado. (Sustituya juntas de sellado cada que abre el componente, comprobación de estanqueidad después del procedimiento)								
<b>Válvula Solenoide</b>								
Revisión de indicios de desgaste en vástago actuador (Reporte cualquier anomalía)							T	
Verificación del estado físico de la válvula, cables, bobina y resorte (Corregir de ser necesario)								
Revisión del filtro de entrada (Corregir de ser necesario)								
Verificación de la limpieza de la caja de conexiones (Corregir de ser necesario)								
Verificación de fugas de agua en el cuerpo de la válvula (Corregir de ser necesario)								
<b>Bancada</b>								
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)							A	
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)								
Verificar lubricación del pistón sellante (Corregir de ser necesario)								
Revisión de llaves de paso (Sustituir si es necesario)								
Revisión de empaques (Sustituir si es necesario)								
Revisión de malla filtrante (Corregir de ser necesario)								
<b>Manómetro</b>								
N/A								
<b>Panel de control</b>								
Verificación de luces piloto (Reporte cualquier anomalía)							S	
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario con producto dieléctrico)								
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)								
Revisión del torque en terminales de tierra (Corregir si es necesario)								
Verificación del estado de los cables (Sustituir si es necesario)								
Revisión del estado externo e interno del gabinete (Reporte cualquier anomalía)								
<b>Termómetro</b>								
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							A	
Revisión del estado de las baterías (Sustituir si es necesario)								
Verificar sensibilidad a -25°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)				% de error:				
Verificar sensibilidad a 0°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)				% de error:				
Verificar sensibilidad a 100°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco)				% de error:				
<b>Banco de Escurrido</b>								
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)							A	
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)								
<b>Balanzas</b>								
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							A	
Verificar sensibilidad al 25% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
Verificar sensibilidad al 50% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
Verificar sensibilidad al 75% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia)				% de error:				
<b>Observaciones generales:</b>								

Significado de letras: F (Frecuencia) - A (Anual) – S (Semestral) –T (Trimestral)

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

		<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>				Página 1 de 1	
		Banco de Pruebas N° 4				N° de Versión: 01	
<b>Fecha:</b>		<b>Hora Inicio:</b>		<b>Próxima revisión:</b>			
<b>Encargado:</b>		<b>Hora Finalización:</b>					
Tareas			Sí	No	N/A	F	Observaciones
<b>Caudalímetros</b>							
Libre de mantenimiento							
<b>Válvula Solenoide</b>							
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)							
Verificar estado del resorte, bobina, empaque, caja de seguridad (Reporte cualquier anomalía)							
Verificación de parámetros eléctricos como tensión y amperaje en la bobina (Reporte cualquier anomalía)							
<b>Bancada</b>							
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)							
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)							
Verificar lubricación del pistón sellante (Corregir de ser necesario)							
Revisión de llaves de paso (Sustituir si es necesario)							
Revisión de empaques (Sustituir si es necesario)							
Revisión de malla filtrante (Corregir de ser necesario)							
<b>Manómetro</b>							
Libre de mantenimiento							
<b>Panel de control</b>							
Verificación de luces piloto (Reporte cualquier anomalía)							
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario con producto dieléctrico)							
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)							
Revisión del torque en terminales de tierra (Corregir si es necesario)							
Verificación del estado de los cables (Sustituir si es necesario)							
Revisión del estado externo e interno del gabinete (Reporte cualquier anomalía)							
<b>Termohigrómetro</b>							
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							
Revisión del estado de la conexión eléctrica (Corregir de ser necesario)							
Verificar sensibilidad a -25°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco) % de error:							
Verificar sensibilidad a 0°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco) % de error:							
Verificar sensibilidad a 100°C (Comprobación con Baño de Bloque Seco) % de error:							
<b>Balanzas</b>							
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario)							
Verificar sensibilidad al 25% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia) % de error:							
Verificar sensibilidad al 50% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia) % de error:							
Verificar sensibilidad al 75% del máximo permitido (Comprobación con masa de referencia) % de error:							
<b>Observaciones generales:</b>							

Significado de letras: F (Frecuencia) - A (Anual) – S (Semestral) –T (Trimestral)

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

		FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				Página 1 de 1	
		Banco de Pruebas N° 5			N° de Versión: 01		
Fecha:		Hora Inicio:		Próxima revisión:			
Encargado:		Hora Finalización:					
INSPECCIÓN DEL EQUIPO							
Tareas		Sí	No	N/A	F	Observaciones	
Bancada							
Verificar indicios corrosión (Corregir de ser necesario con producto anticorrosivo)					A		
Revisión de fugas de agua (Corregir de ser necesario)							
Verificar lubricación del pistón sellante (Corregir de ser necesario)							
Verificar funcionamiento del pistón sellante (Reporte cualquier anomalía)							
Revisión de llaves de paso (Sustituir si es necesario)							
Revisión de empaques (Sustituir si es necesario)							
Revisión de malla filtrante (Corregir de ser necesario)							
Panel de control (Cada panel)							
Verificación de luces piloto (Reporte cualquier anomalía)					S		
Verificar indicios de suciedad (Corregir de ser necesario con producto dieléctrico)							
Revisión del torque en terminales de cada dispositivo (Corregir de ser necesario)							
Revisión del torque en terminales de tierra (Corregir si es necesario)							
Verificación del estado de los cables (Sustituir si es necesario)							
Revisión del estado externo e interno del gabinete (Reporte cualquier anomalía)							
<b>Observaciones generales:</b>							

Significado de letras: F (Frecuencia) - A (Anual) – S (Semestral)

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Iluminación	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>

INSPECCIÓN DEL EQUIPO				
Tareas	Sí	No	N/A	Observaciones
Verificación del funcionamiento de las luminarias (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación de etiquetas (Reporte cualquier anomalía)				
Revisión de indicios de suciedad en las luminarias y en las terminales (Corrija de ser necesario)				
Revisión de los sensores de movimiento e interruptores (Reporte cualquier anomalía)				
Revisión del funcionamiento de las luminarias de emergencia (Reporte cualquier anomalía)				
Revisión del estado de las baterías en las luminarias de emergencia (Sustituya de ser necesario)				
<b>Observaciones generales:</b>				

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Tableros Eléctricos	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>

INSPECCIÓN DEL EQUIPO				
Tareas	Sí	No	N/A	Observaciones
Verificación del estado físico del gabinete, cubiertas, puertas, bisagras, compuertas. (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación del estado de las terminaciones de las tuberías. (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación del estado de los cables. (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación de indicios de suciedad dentro y fuera del tablero (Corrija de ser necesario)				
Verificar que el directorio de circuitos se encuentre actualizado. (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación del estado de las terminaciones eléctricas en los cables y disyuntores. (Reporte cualquier anomalía)				
Revisación del torque en las terminales de tierra. (Corrija de ser necesario)				
Revisación del torque en las terminales de fase. (Corrija de ser necesario)				
Revisación del torque en las terminales de neutro. (Corrija de ser necesario)				
Verifique el correcto funcionamiento del interruptor principal. (Reporte cualquier anomalía)				
Verifique el correcto funcionamiento de los disyuntores electromagnéticos. (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación del etiquetado de los cables y disyuntores electromagnéticos. (Reporte cualquier anomalía)				
Revisación del torque en las terminales de los disyuntores electromagnéticos. (Corrija de ser necesario)				
Revisación del torque en las terminales del interruptor principal. (Corrija de ser necesario)				
Mediciones eléctricas				
Voltaje		Corriente		
Fase A-B:	V	Fase A:		A
Fase C-B:	V	Fase B:		A
Fase A-C:	V	Fase C:		A
Fase A-Neutro	V	Puesta a tierra:		A
Fase B-Neutro	V	Neutro:		A
Fase C-Neutro	V			
Fase A-PT	V			
Fase B-PT	V			
Fase C-PT	V			
<b>Observaciones generales:</b>				

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Tomacorrientes	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>

<b>INSPECCIÓN DEL EQUIPO</b>				
Tareas	Sí	No	N/A	Observaciones
Revisión de la sujeción de la placa (Corrija de ser necesario)				
Verificación del estado físico del receptáculo (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación de etiquetas (Reporte cualquier anomalía)				
Verificación de la polaridad (Reporte cualquier anomalía)				
<b>Mediciones eléctricas</b>				
<b>Voltaje</b>				
Fase A-N:		V		
Fase N-PT:		V		
Fase A-PT:		V		
<b>Observaciones generales:</b>				

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

	<b>FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Página 1 de 1
	Maquina hidráulica	N° de Versión: 01

<b>Fecha:</b>	<b>Hora Inicio:</b>	<b>Próxima revisión:</b>	
<b>Encargado:</b>	<b>Hora Finalización:</b>	<b>ID:</b>	<b>Frecuencia:</b>

INSPECCIÓN DEL EQUIPO							
Tareas				Sí	No	N/A	Observaciones
Verifique el estado general del equipo (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el nivel de aceite (Reporte cualquier anomalía)							
Inspeccione indicios de suciedad. (Reporte cualquier anomalía)							
Inspeccione indicios de fugas de aceite en las tuberías. (Reporte cualquier anomalía)							
Inspeccione el estado de las muelas del accionador. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el funcionamiento de los manómetros. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el funcionamiento del reductor de velocidad. (Reporte cualquier anomalía)							
Inspeccione el estado de las uniones de las tuberías. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el funcionamiento de las palancas de acción. (Reporte cualquier anomalía)							
Verifique el estado de las juntas de sellado del motor							
Anote las horas de uso del aceite:				Horas:			
Mediciones eléctricas							
Voltaje			Corriente			Resistencia	
Fase A-B:	V	Fase A-PT:	V	Fase A:	A	U-V	Ω
Fase C-B:	V	Fase B-PT:	V	Fase B:	A	V-W	Ω
Fase A-C:	V	Fase C-PT:	V	Fase C:	A	W-U	Ω
<b>Observaciones generales:</b>							

Firma del técnico: \_\_\_\_\_

Firma del jefe técnico: \_\_\_\_\_

### 3.3.5 Acciones de contingencia

Debido a que derivado de las rutinas de mantenimiento se podrían presentar algunos eventos anómalos que, dado el caso, detendrían el funcionamiento del equipo, o bien del laboratorio como tal, es importante que se planteen acciones de contingencia que de alguna manera mitiguen la afectación ya sea, por un hallazgo de un problema mayor, como una fuga, un sobrecalentamiento, o que del todo sea necesario para el equipo para evitar un daño mayor. Explicado lo anterior se detallarán las medidas a tomar en alguno de los casos previos, específicamente para el caso de los equipos catalogado como “Clase A” o bien críticos en el apartado de 3.3.3 – Análisis de criticidad, los cuales son las bombas de agua, el compresor, la maquina hidráulica y los tableros eléctricos.

Se explicará según el tipo de equipo:

- Bombas de agua

El plan remedial dado el caso que se deba de sacar de servicio alguna de las seis bombas que posee el laboratorio, dentro de la institución existe un departamento llamado “Gestión de equipamiento operativo” al cual se le puede pedir bombas de agua con las mismas características por un tiempo determinado para así subsanar la afectación por alguna eventualidad detectada en el plan de mantenimiento.

- Compresor de aire

Para el caso del compresor la acción de contingencia es similar a la de las bombas de agua debido a que el departamento de “Gestión de equipamiento operativo” de la institución también tiene a disposición compresores portátiles con características similares al que se encuentra instalado, de igual manera se debe hacer la gestión correspondiente en cuanto a la solicitud de este.

- Maquina hidráulica

Para el caso de este equipo hay una particularidad ya que, un hallazgo en la rutina que amerite detener la maquina no tiene un impacto sustancial en la producción de pruebas volumétricas por reclamo, esto debido a que la maquina tiene como función facilitar al operario al momento de la apertura de los hidrómetros. Por otra parte, y tal como se desarrolla en el apartado 3.3.3 – Análisis de criticidad, el criterio que convierte a esta máquina en un equipo “Clase A” o critico es el de seguridad, por lo tanto, no tiene injerencia significativa en la producción del laboratorio.

- Tableros eléctricos

Para el caso de los tableros no existe, de momento, una acción remedial para el caso de que haya una interrupción en el suministro de electricidad por parte de la empresa encargada, por lo tanto, en el apartado de recomendaciones se hará una sugerencia para corregir este faltante en el caso de una falla en la red. Por otro lado, en el caso de los bienes menores tales como disyuntores electromagnéticos, no implican una parada significativa del equipo, debido a un desperfecto mecánico o bien un hallazgo al momento de la rutina de mantenimiento preventivo, esto porque son artefactos que se encuentran en los diferentes proveedores que tiene la institución y se puede realizar la reparación en un corto plazo.

### 3.3.6 Gestión de repuestos

Las rutinas de mantenimiento preventivo tienen un componente importante dado que si al momento del procedimiento se encuentra que un componente está a punto de fallar o que ya cumplió su vida útil de debe cambiar, por lo tanto, es importante generar una lista de consumibles mínimos que debe tener el laboratorio para suplir dichas sustituciones, esto tomando en cuenta lo expuesto en el apartado 2.38. - Gestión de repuestos disponibles, del marco teórico. Una vez analizado el contenido de las rutinas y tomando en cuenta el análisis de criticidad desarrollado en el apartado 3.3.3. Solo generara una lista de consumibles de los equipos críticos o “Clase A” y en algunos casos especiales que los componentes tengas la particularidad de que se tengas que mandar a hacer a la medida, como en el caso de los empaques de todas las bancadas.

Según las rutinas se tomarán en cuenta los puntos que tengas las leyendas “Sustituya de ser necesario” o “Reporte cualquier anomalía”, siempre y cuando dicha anomalía haga la referencia de que el componente en cuestión puede fallar a corto plazo.

Tomando en cuenta lo anterior se generará una lista por cada equipo:

Tabla 14. Lista de repuestos en bodega por cada equipo según necesidad.

Equipo	Consumible	Características	Cantidad
Banco 1	Empaque	DN - 1/2" y 3/4	6 c/u
	Llave Aguja	DN - 1/4"	1
	Llave Compuerta	DN - 1/2" y 1"	2
	Filtro de Agua	HYDRONIX SPC-25-2005	1
	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u

	Cables	THHN 12 AWG	10m
	Manómetro	160 PSI	1
Banco 2	Baterías	AA	3
	Empaque	DN - 1/2" y 3/4	6 c/u
	Llave Aguja	DN - 1/4"	1
	Llave Compuerta	DN -1/2" y 1"	2
	Filtro de Agua	HYDRONIX SPC-25-2005	1
	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u
	Cables	THHN 12 AWG	10m
	Manómetro	160 PSI	1
Banco 3	Baterías	AA	3 c/u
	Empaque	DN - 1/2" y 3/4	6 c/u
	Llave Aguja	DN - 1/4"	1
	Llave Compuerta	DN - 1/2" y 1"	2
	Filtro de Agua	HYDRONIX SPC-25-2005	1
	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u
	Cables	THHN 12 AWG	10m
	Manómetro	160 PSI	1
Banco 4	Caudalímetro	DN 2" Integra ultrasonido	1
	Manómetro	160 PSI	1
	Empaques	DN - 1", 1 1/2" y 1 3/4"	4 c/u
	Llaves compuerta	DN - 1/2" y 2"	1 c/u
	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u
	Cables	THHN 12 AWG	10m
Banco 5	Manómetro	160 PSI	1
	Empaques de brida	DN 50 - DN 200	2 c/u
	Llaves mariposa	4"	1
	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u
	Cables	THHN 12 AWG	10m
Bombas de Agua	Luces piloto	12V ROJO Y VERDE	1 c/u

	Cables	THHN 12 AWG	10m
	Llaves de compuerta	DN - 1"	1
Tableros	Cables	THHN 12 AWG	10m
	Breaker	20A	2
Compresor	Filtro de aire	Para mod C7550	1
	Correa de distribución	Para mod C7550	1
	Válvula de retención	Para mod C7550	1
	Manómetro	Para mod C7550	1

### 3.3.7 Duración de las actividades

Una vez realizadas las rutinas de mantenimiento, el siguiente paso es determinar cuánto se estima que duren estas actividades, dicha estimación se realizará con la formula PERT, tal como se encuentra explicada en el apartado 2.41 - Duración de actividades, del marco teórico. Dicha duración es de suma importancia debido a que a partir de estos datos se programará el cronograma del año 2024 y por otra parte servirá como base de la estimación de los gastos financieros para establecer como punto de partida de un mantenimiento preventivo ejecutado y supervisado por el personal del laboratorio de flujo de agua o bien tomar la decisión de la tercerización de los servicios. Es evidente que lo ideal sería ejecutar las actividades propuestas con sus tres intentos para poder así generar un tiempo estimado con mayor precisión, pero dadas las condiciones de que no hay permiso por parte de la jefatura directa para realizarlas, se toma una estimación de la duración en base a la experiencia tanto de los analistas como del encargado del área técnica.

Explicado lo anterior se tomará como ejemplo la duración de las actividades que se le realizan a los “Rotámetros”, según las tareas llevadas a cabo por uno de los analistas, donde aplico la rutina a los rotámetros del banco N°2, se hicieron actividades en cada rotámetro, debido que son tres, se ajusta perfecto para aplicarle la formula PERT, según los datos recopilados, la duración que tuvo fue de 0.68, 0.60 y 0.65 horas, esto incluyendo la actividad de inspección y también las actividades preventivas como la sustitución de juntas de sellado (empaques), tal y como lo indica el fabricante.

Según la siguiente tabla, donde se ve la duración de cada actividad en cada intento:

Tabla 15. Duración de la rutina de rotámetros.

Duración de la rutina de rotámetros				
Intentos	Inspección de indicios de suciedad	Sustitución de juntas de sellado	Total en minutos	Total en horas
1	5	36	41	0.68
2	7	29	36	0.60
3	6	33	39	0.65

Se ordenan los datos y se obtiene que:

Tiempo pésimo ( $T_p$ ): 0.68 horas

Tiempo normal ( $T_n$ ): 0.65 horas

Tiempo optimo ( $T_o$ ): 0.60 horas

Aplicando la formula PERT se obtiene que el tiempo estimado para la rutina de los rotámetros es de 0.65 horas

Tomado como base el ejemplo anterior de desarrollada una tabla con los datos de actividad:

Tabla 16. Duración estimada de cada componente.

Equipo	T. Optimo	T. Pésimo	T. Normal	T. estimado (Min)	T. estimado (Horas)
Rotámetro	36	41	39	38.83	0.65
Bomba	124	139	131	131.17	2.19
Compresor	100	156	119	122.00	2.03
Válvula Solenoide	25	40	34	33.50	0.56
Válvula Neumática	14	26	17	18.00	0.30
Termómetro	46	63	72	66.17	1.10
Balanza	24	45	38	36.83	0.61
Bancadas	117	151	142	139.33	2.32
Tableros	83	106	98	96.83	1.61
Panel de Control	67	90	81	80.17	1.34
Maquina Hidráulica	54	72	66	65.00	1.08

Luminarias	6	21	15	14.50	0.24
Aire Acondicionado	136	168	147	148.67	2.48
Filtro de Agua	7	18	12	12.17	0.20
Tomacorrientes	11	19	16	15.67	0.26

Debido a que los bancos de pruebas se integra por diferentes componentes se realizara una tabla con la distribución del tiempo en cada banco y su duración total.

Tabla 17. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°1.

Banco N°1		
Componente	Cantidad	Duración Total
Válvula Neumática	7	2.10
Panel de Control	3	4.01
Válvula Solenoide	2	1.12
Balanza	1	0.61
Bancada	1	2.32
Filtro de Agua	1	0.20
Bomba	3	6.56
Total Final		16.92

Tabla 18. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°2.

Banco N°2		
Componente	Cantidad	Duración Total (Horas)
Rotámetro	3	1.94
Válvula Neumática	1	0.30
Bancada	1	2.32
Panel de Control	1	1.34
Termómetro	1	1.10
Balanza	1	0.61
Filtro de Agua	1	0.20

Banco de Esgurrido	1	0.99
Total Final		8.81

Tabla 19. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°3.

Banco N°3		
Componente	Cantidad	Duración Total (Horas)
Rotámetro	3	1.94
Termómetro	1	1.10
Bancada	1	2.32
Panel de Control	1	1.34
Filtro de Agua	1	0.20
Válvula Solenoide	1	0.56
Balanza	2	1.23
Banco de Esgurrido	1	0.99
Total Final		9.68

Tabla 20. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°4.

Banco N°4		
Componente	Cantidad	Duración Total (Horas)
Balanza	1	0.61
Bancada	1	2.32
Termómetro	1	1.10
Válvula Solenoide	1	0.56
Panel De Control	1	1.34
Total Final		5.93

Tabla 21. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en Banco N°5.

Banco N°5		
Componente	Cantidad	Duración Total (Horas)
Bancada	1	2.32

Panel De Control	1	1.34
Total Final		3.66

A continuación, se mostrará un resumen con la duración por cada banco de pruebas, esto debido a que el cronograma, en el caso de los bancos se hará por cada uno:

Tabla 22. Resumen de duración por cada banco de pruebas.

Equipo	Duración (Horas)
Banco N°1	16.92
Banco N°2	8.81
Banco N°3	9.68
Banco N°4	5.93
Banco N°5	3.66

Tabla 23. Duración de actividades de mantenimiento preventivo en los equipos de la zona de apoyo.

Equipos de apoyo		
Componente	Cantidad	Duración Total (Horas)
A/C	4	9.91
Balanza	1	0.61
Bomba	3	6.56
Compresor	1	2.03
Maquina Hidráulica	1	1.08
Tablero	4	6.46
Iluminación	39	9.43
Tomacorrientes	47	12.27

### 3.3.8 Cronograma

Teniendo en cuenta la información recopilada y el análisis de criticidad desarrollado se realizará un cronograma anual de mantenimiento con las siguientes particularidades:

1. El horario para realizar dichos mantenimientos es de 6:00am a 2:15pm, de lunes a viernes.

2. No serán tomados en cuenta los días feriados por ley ni tampoco las vacaciones colectivas de fin de año y semana santa.
3. Previo a la aplicación de esta propuesta de cronograma, como se mencionó anteriormente en el apartado 3.2.4 - Inventario, se debe llevar a cabo un mantenimiento de tipo “puesta a punto”.
4. No se podrá realizar más de un mantenimiento por semana para que la afectación a la producción del laboratorio sea la menor, no porque se vaya a sacar de servicio el banco de pruebas o el equipo, sino más bien que las personas encargadas (pareja) del mantenimiento preventivo serían los analistas, tal como se explicó en el apartado 3.2.3 – Actividades del Laboratorio Nacional de Flujo de Agua.

A continuación, se presentará la propuesta del cronograma de actividades por semana del año 2024:

Tabla 24. Cronograma de actividades para el 1er trimestre del 2024.

Actividades	Enero				Febrero				Marzo			
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4
Banco 1												
Banco 2												
Banco 3												
Banco 4												
Banco 5												
A/C												
Compresor												
Maq. Hidráulica												
Bombas de Agua												
Balanza												
Tableros												
Iluminacion												
Tomacorrientes												

Vacaciones

Semana Santa





### 3.3.9 Análisis Financiero

Para el apartado financiero, el cual sustenta la factibilidad de la propuesta, compara el costo que tendría dicha implementación realizada por los trabajadores del laboratorio de flujo de agua o bien, optar por la tercerización de los servicios electromecánicos. Como referencia se tomará el costo de la hora de un técnico electromecánico de la empresa TPM, la cual ya posee contratos con la institución en cuanto a algunas bombas, compresores de aire y otros equipos distribuidos por todo el país. Es importante aclarar que esta propuesta no se pudo cotizar de una manera más detallada, debido a que no existe una licitación pública por esta actividad, por lo cual las empresas no tienen interés en generar el proceso de una licitación, es decir, una visita y una cotización formal, ya que esto les representa gastos operativos sobre un supuesto. Por otro lado, según el instructivo CEG-11-02-I3 (Elaboración de Estimación de cargas de trabajo) elaborado por Yesenia Cerdas, de AyA, estipula que los analistas tienen que destinar 366.3 horas anuales para labores de mantenimiento preventivo, con dicho instructivo se sustenta que no se incurrirían en gasto por horas en tiempo extraordinario para la ejecución del plan de mantenimiento preventivo. Por otra parte, la variable que se analizará serán las horas de duración antes definidas en el apartado 3.3.7 - Duración de actividades. Por lo tanto, se mostrará una tabla la cual representa cada actividad con su respectiva duración:

Tabla 28. Resumen de duración actividades por equipos.

Duración Total	
Equipo	Horas
Banco N°1	16.92
Banco N°2	8.81
Banco N°3	9.68
Banco N°4	5.93
Banco N°5	3.66
A/C	9.91

Balanza	0.61
Bomba	6.56
Compresor	2.03
Maquina Hidráulica	1.08
Tablero	6.46
Iluminación	9.43
Tomacorrientes	12.27

Partiendo del hecho de que los analistas tienen el puesto de “Gestor Experto”, el cual percibe al mes ₡ 443 000,00 (cuatrocientos cuarenta y tres mil colones) según lo estipula el servicio civil, el cual homologa al puesto de Técnico III como Gestor experto como salario base en el régimen de salario compuesto, sin considerar incentivos salariales como anualidades, debido a que no se puede generalizar que todos poseen la misma cantidad de estas. Debido al estado social de derecho costarricense el costo de un trabajador para la institución no solo es el salario como tal, sino que también hay que agregarle al salario las cargas sociales y derechos como aguinaldo y salario escolar, los cuales se desglosan de la siguiente manera:

Salario escolar: 8.32%

Cuotas patronales de la CCSS: 26.67%

Póliza de riegos laborales del INS: 8%

Cesantía: 5.12%

Aguinaldo: 8.33%

Entre cargas sociales y derechos adquiridos se suma un total de 56.44%, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados paga 240 horas mensuales, por lo tanto, la hora de un analista es de ₡ 2 887.62. Cabe recalcar que el mantenimiento preventivo se realizara por una pareja de analistas. A modo de resumen el costo por cada equipo si fuera ejecutado por el personal del mismo laboratorio se muestra de la siguiente manera:

Tabla 29. Desglose del costo de mantenimiento con personal del LFA

Desglose del costo de mantenimiento con personal del LFA			
Equipo	Duración en horas	Frecuencia (Veces al año)	Costo final
Banco N°1	16.92	4	€390 868,24
Banco N°2	8.81	2	€101 759,72
Banco N°3	9.68	2	€111 808,64
Banco N°4	5.93	2	€68 494,34
Banco N°5	3.66	2	€42 274,76
A/C	9.91	4	€228 930,52
Balanza	0.61	1	€3 522,90
Bomba	6.56	4	€151 542,30
Compresor	2.03	4	€46 894,94
Maquina Hidráulica	1.08	4	€24 949,04
Tablero	6.46	4	€149 232,20
Iluminación	9.43	2	€108 921,02
Tomacorrientes	12.27	1	€70 862,20
Total			€1 500 060,82

Por otra parte, según la figura 28, la cotización por los servicios de la empresa TPM, donde cotiza que por un servicio de 5.2 horas cobra €134 560.00, sin incluir el impuesto de prestación de servicio que del 13%, al momento de sacar el costo por hora del servicio electromecánico, incluyendo el impuesto, es de € 28 589.00.

		<b>COTIZACION</b>		Fecha: 10/03/2023	
				Orden Correct.	Orden Prevent.
				19494	
<b>ATENCIÓN: ING. CARLOS CALDERON BORGES</b>					Numero 7734
<b>EMPRESA: INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Dequipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Ubicacion</b>	<b>Horimetro</b>	
EE01007	ACT.100175 (EE) MOT SHINDA MOD.488	CARLOS 100175	LA URUCA		
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>				<b>Costo</b>
BATDIE_CO	1 - cilindro y pistón - 1 - MATERIALES - Total Repuestos 125600 Total Mano de Obra 131560 Total Horas 5.2	φ125600			φ125600.00
	MANO DE OBRA				φ131560.00
				<b>Subtotal</b>	<b>φ257160.00</b>
				<b>I.V.</b>	<b>φ33430.80</b>
				<b>Total</b>	<b>φ290590.80</b>

Figura 28. Cotización con mano de obra TPM

Tomando en cuenta el dato anterior de la figura 28, se tiene con que el costo si se tercerizara el servicio del mantenimiento preventivo se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 30. Desglose del costo de mantenimiento tercerizado con TPM

Desglose del costo de mantenimiento tercerizado con TPM			
Equipo	Duración en horas	Frecuencia (Veces al año)	Costo final
Banco N°1	16.92	4	¢1,934,903.52
Banco N°2	8.81	2	¢503,738.18
Banco N°3	9.68	2	¢553,483.04
Banco N°4	5.93	2	¢339,065.54
Banco N°5	3.66	2	¢209,271.48

A/C	9.91	4	€1,133,267.96
Balanza	0.61	1	€17,439.29
Bomba	6.56	4	€750,175.36
Compresor	2.03	4	€232,142.68
Maquina Hidráulica	1.08	4	€123,504.48
Tablero	6.46	4	€738,739.76
Iluminación	9.43	2	€539,188.54
Tomacorrientes	12.27	1	€350,787.03
Total			€7,425,706.86

Teniendo en cuenta las dos opciones se evaluará la factibilidad de la propuesta con el indicador financiero CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente), si se propone que el proyecto se implemente en un intervalo de tiempo de 5 años a partir del 2024, para obtener el CAUE, primeramente, se debe calcular el Valor Actual Neto (VAN) y luego el CAUE, según lo explicado en los apartados 2.41 – Indicadores Financieros y 2.43 – Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Se tiene que el VAN y el CAUE se calcula de la siguiente manera:

Donde:

- Inversión inicial (Mano de obra LFA) = €7 140 719,35
- Inversión inicial (Mano de obra TPM) = 0
- Vida Útil = 5 años
- Tasa de interés = 7.119% (Se obtiene de la Tasas de interés netas máximas de captación e inversiones financieras de entidades públicas del Estado del Banco Central proyectada para el 14 de noviembre 2023) (BCCR, 2023)
- Costo de periodo con mano de obra Laboratorio = €1 500 060,82
- Costo de mantenimiento contratado = €7 425 706.86
- Valor de rescate: 0

Nota: En el caso de la mano de obra realizada por el personal del laboratorio tiene una inversión inicial de ¢7 140 719,35. Este costo debido a que se debe realizar una capacitación a los tres analistas destacados y también a una persona de equipo de gestión de la calidad en el caso de que no haya analistas disponibles, se tomó como referencia el curso de “Técnico en Electromecánica” de FUNDATEC, esto debido a que según el plan de estudios se ajusta a las necesidades que tiene el laboratorio en cuanto a los equipos, tal como se puede observar en el apéndice 21, por otro lado se le agrega el costo de herramienta especializada para llevar a cabo alguno de los mantenimientos preventivos tal como se ve en el apéndice 20. También se le agrega a la opción de mano de obra del laboratorio un 2.45% cada año por el aumento por concepto de anualidades del personal cada año, esto para que el cálculo del costo sea lo más real posible, también así se agrega a la opción de mano de obra tercerizada un 3.12% por concepto de inflación interanual desde el año 2018 al 2022 por la misma razón antes explicada.

Para el caso de la mano de obra interna se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 31. Desglose del cálculo del CAUE mano de obra LFA.

	Costo Anual					
Inversión Inicial	1	2	3	4	5	Valor de rescate
¢7 140 719,35	¢1 500 060,84	¢1 536 830,95	¢1 612 173,83	¢1 730 728,65	¢1 900 426,01	0
VAN	¢15 420 939,64					
CAUE	¢3 773 015,05					

Para el caso de la mano de obra tercerizada:

Tabla 32. Desglose del cálculo del CAUE mano de obra por TPM.

	Costo Anual					
Inversión Inicial	1	2	3	4	5	Valor de rescate
0	¢7 425 706,86	¢7 657 388,91	¢7 657 388,91	¢7 657 388,91	¢7 657 388,91	0
VAN	¢38 055 262,52					
CAUE	¢9 310 916,30					

Con respecto a los cálculos antes desarrollado, se tiene que el CAUE más bajo es la opción de mantenimiento ejecutado por los trabajadores del laboratorio, ya que es de ¢3 773 015,05 y el de la opción de que se realice por la empresa TPC es de ¢9 310 916,30, por lo tanto, la opción de que el plan de mantenimiento preventivo sea realizado por el personal del laboratorio es más factible financieramente hablando. Cabe aclarar que ninguna de las dos opciones contempla el costo por consumibles y suministros requeridos para las rutinas por lo tanto están en igual de condiciones.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.2 Conclusiones

1. Se elaboró una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo el cual se sustenta en el capítulo 4 de este trabajo tomando en cuenta variables como recurso humano, especificaciones de cada equipo, localización del equipo, su nivel de criticidad, la duración de las actividades y un análisis financiero para determinar que opción es la más óptima para implementar esta propuesta, con esto permite garantizar la prestación de los servicios y la mitigación de las posibles fallas que presentan los diferentes equipos electromecánicos que se encuentran en los bancos de pruebas del Laboratorio de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
2. Se identificaron las actividades del Laboratorio de Flujo de Agua, tal y como lo menciona el apartado 3.2.3 - Actividades del Laboratorio Nacional de Flujo de Agua para así determinar cuál es el personal necesario y por ende, el encargado para llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo, según este apartado el personal operativo que se haría responsable de la ejecución de este propuesta son los analistas, dadas las funciones que desempeñan y la justificación a lo largo del capítulo 4 que sustenta esta decisión.
3. Se reconocieron las necesidades que tiene el Laboratorio de Flujo de Agua en cuanto a la gestión de los equipos electromecánicos concretamente en la codificación de los diferentes equipos de una manera homogeneizada y que brindara información a primera vista, dicha segmentación se llevó a cabo con tres criterios, ubicación del equipo, mostrada en la figura N°25, las iniciales de cada componentes descritas en la tabla N°8 y el consecutivo, con esta estandarización se pudo generar un cronograma de trabajo que permite una localización de los diferentes equipos con mayor eficiencia y que afecte en la menor cantidad posible las labores del departamento y con esto satisfacer la demanda de pruebas volumétricas por reclamo que llevan al laboratorio.
4. Se realizó una clasificación de los diferentes equipos que permita una gestión de los activos estandarizada basado en su nivel de criticidad basada en los criterios de Seguridad, Entrega, Fiabilidad y Mantenimiento, con dichos criterios se generó un algoritmo de decisión que se utilizó para la clasificación de los diferentes equipos en tres clases “A”, ”B” y ”C”, tal y como se explica en el apartado 3.3.3 – Análisis de criticidad, a partir de dicha clasificación

se determinó la frecuencia del mantenimiento en tres periodos, trimestral, semestral y anual y con este se procura un manejo óptimo de los diferentes equipos.

5. Se generaron rutinas de mantenimiento preventivo a partir de la información recopilada en el apartado 3.2.4 – Inventario, con los datos recolectados se logró determinar cuáles eran las actividades necesarias para el mantenimiento del equipo basado en tres fuentes de información como lo son los manuales de fabricante, normas que regulan ciertos equipos y por último, según la experiencia del ingeniero encargado de la parte operativa del Laboratorio de Flujo de Agua, siendo la de los manuales de fabricantes la más determinante al momento de la toma de decisiones, con esto es posible atacar y disminuir las diferentes fallas que originan de las labores diarias.
6. Se realizó un análisis financiero sobre las opciones disponibles para tomar la decisión de quien se iba a encargar de la ejecución de las rutinas de mantenimiento basándose en los indicadores financieros VAN y CAUE, quedando seleccionada la opción de ejecutar esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo por el personal operativo del Laboratorio de Flujo de Agua, siendo que esta opción era de 59.48% menor a la opción de tercerizar los servicios con la empresa TPM, tal como se explica en el apartado 3.3.9 - Análisis financiero.

### **4.3 Recomendaciones**

1. Se recomienda realizar un mantenimiento del tipo “puesta a punto” previo a la implementación de esta propuesta para que el impacto del mantenimiento preventivo sea sustancial.
2. Se recomienda a partir del inicio del cronograma de actividades, llevar un control de las fallas suscitadas en los equipos para poder generar un registro de datos que se puedan utilizar en un futuro para la toma de decisiones mediante programas informáticos enfocados a la gestión del mantenimiento
3. Se recomienda capacitar al personal del laboratorio de flujo de agua en el ámbito de mantenimiento electromecánico tomando en cuenta la cotización de FUNDATEC.
4. Se recomienda que el laboratorio cuente con personal dedicado exclusivamente a tareas de mantenimiento.
5. Se recomienda que para futuras adquisiciones de equipos se incluyan los equipos en el plan de mantenimiento.
6. Se recomienda dotar a los trabajadores con las herramientas necesarias para llevar a cabo el mantenimiento preventivo.
7. Se recomienda la implementación de un generador eléctrico que cumpla con las características necesarias para que el servicio del laboratorio no se vea afectado en el caso de que la red eléctrica no esté disponible.

## **CAPÍTULO VI: PROPUESTA**

Una vez explicado y desarrollado los puntos concernientes a la elaboración de un plan de mantenimiento para el caso de los equipos electromecánicos del Laboratorio Nacional de Flujo de Agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados se propone una gestión de activos con un plan de mantenimiento basado en una clasificación por análisis de criticidad sustentado por el método de análisis cualitativo de los equipos, esto debido a que no existen datos previos de fallas, además una codificación estandarizada para todos los equipos apoyado en los datos de ubicación, tipo de equipos y un consecutivo, esto para poder tener un control homogeneizado de todos los componentes de este departamento.

Por otro lado, se proponen rutinas para cada banco de pruebas, así como también para cada equipo de apoyo con el que cuenta esta dependencia, basándose tanto en el análisis de criticidad desarrollado en este proyecto como también las disposiciones y recomendaciones de los fabricantes y algunas normas que emiten sus sugerencias en cuanto las tareas a realizar de acuerdo con estudios técnicos y estadísticos de los equipos aquí mencionados. También se propone un cronograma de trabajo para el año 2024, el cual está sujeto a varias situaciones, por ejemplo, la realización de un mantenimiento “puesta a punto” de los equipos, como también a la disponibilidad de los analistas para llevar a cabo estos mantenimientos, en las semanas establecidas en el cronograma.

Por último, se realizó un análisis financiero el cual comparó el costo que se tendría si la ejecución de las rutinas de mantenimiento preventivo se llevase a cabo con las personas trabajadoras del laboratorio, o bien, si se contratará una empresa privada que se encargará de las tareas, en este caso la empresa privada TPM (Tecnologías para el mantenimiento), es decir tercerizar el servicio. Según el análisis financiero se tiene que la opción de implementar el plan de mantenimiento más factible es la ejecutada por el personal operativo del laboratorio.

## REFERENCIAS

- Bottazzi, Cristian. Costarelli, Santiago, D'Elia, Jorge. Dalcin, Lisandro. Galizzi, Diego. Giménez, Juan Marcelo Olivera, José. Novara, Pablo. Paz, Rodrigo. Prigioni, Juan Pucheta, Martín. Rojas Fredini. Pablo Sebastián. Romeo, Lautaro. Storti, Mario. (2009). Algoritmos y Estructuras de Datos. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas Universidad Nacional del Litoral.
- Cárcamo-Rojas, F., Silva-Carmona, J., & Parada, V. (2018). Análisis de costo-efectividad del mantenimiento preventivo y correctivo en una planta minera. *Dyna*, 85(204), 79-85.
- Castello, E. (1997). Programación y control por el método PERT. Ediciones de la Universidad Complutense de Madrid.
- Creus Solé, A. (2009). Instrumentos industriales, su ajuste y calibración. Cuauhtémoc, México: Alfaomega Grupo Editor
- Gamboa Vásquez, A. (2023). LFA-15-P “Manipulación de los ítems de calibración” Ver. #3.
- García-Sánchez, A., Gómez-López, J. M., & García-Sánchez, E. (2020). Mantenimiento Predictivo en Instalaciones Industriales. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 24(3), 168-177.
- Garrido, S. G. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Díaz de Santos.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2018). Manual Organizacional de Funcional.  
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Manual%20Organizacional%20AyA.pdf>
- KROHNE Messtechnik GmbH. (s/f). Caudalímetros de área variable. Krohne.com. Recuperado el 3 de noviembre de 2023, de <https://krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalimetros/caudalimetros-de-area-variable>
- Leiva, V., Gacitúa, C., & Sepúlveda, J. (2017). Análisis de costo-efectividad del mantenimiento preventivo en una planta minera. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(3), 432-442.
- López, J. I., López, R. A., & Hernández, O. (2019). Análisis de costos del mantenimiento preventivo en una empresa de producción de alimentos. *Técnica Administrativa*, 18(1), 23-38.

- Morales-Menéndez, R., Cobo-Benita, J. R., & Guerrero-López, F. (2021). Planificación del mantenimiento preventivo en una empresa de fabricación de componentes de automoción. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 25(1), 22-30.
- Norma Técnica: Hidrómetros para el Servicio de Acueducto. AR-HSA-2008
- Palencia, O. G. (2011). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales*. Ediciones de la U.
- Parra, C., & Crespo, A. (Eds.). (2019). *Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos (Vol. 1)*. Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad.
- Pascual, R. (2002). *Gestión moderna del mantenimiento*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Disponible en: [https://www.academia.edu/download/52449284/manual\\_del\\_ingeniero\\_de\\_mantenimiento.pdf](https://www.academia.edu/download/52449284/manual_del_ingeniero_de_mantenimiento.pdf)
- Pazmiño, R., Sánchez, S., & Bravo, F. (2021). Selección de materiales para el mantenimiento preventivo en una fábrica de productos químicos. *Revista Científica de Ingeniería Química*, 20(1), 111-118.
- Poggioli, P. (1973). *Aplicación práctica del método PERT*. Reverte.
- Ramírez-Rojas, C. (2019). La descentralización en el sector agua en Costa Rica: El caso del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Revista de Estudios Sociales*, 70, 74-84.
- Ramos, J. A., Gómez, J. A., & Gutiérrez, A. (2017). Análisis de los costos del mantenimiento preventivo en la industria manufacturera. *Revista de Ingeniería Industrial*, 16(1), 15-24.
- Ramos, J. A., Gómez, J. A., & Gutiérrez, A. (2020). Planificación del mantenimiento preventivo y su impacto en la reducción del tiempo de inactividad no planificado en la industria manufacturera. *Revista de Ingeniería Industrial*, 19(2), 71-79.
- Tasas de interés netas máximas de captación e inversiones financieras de entidades públicas del Estado. (s/f). Bccr.fi.cr. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1%20&CodCuadro=%202832>
- Parra, C., & Crespo, A. (2019). *Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos*. [https://www.researchgate.net/publication/342926771\\_Metodos\\_de\\_Analisis\\_de\\_Criticidad\\_y\\_Jerarquizacion\\_de\\_Activos](https://www.researchgate.net/publication/342926771_Metodos_de_Analisis_de_Criticidad_y_Jerarquizacion_de_Activos)

## APÉNDICES Y FIGURAS

### **Mantenimiento**

#### **Limpieza del Producto**

##### **⚠ Precaución**

Para evitar posibles daños en el Producto o el equipo que se esté probando, no utilice limpiadores abrasivos. Se dañará el estuche.

Para limpiar el Producto, utilice un paño con una solución limpiadora de grado medio.

#### **Reemplazo de las pilas**

##### **⚠ Advertencia**

Para evitar posibles explosiones, fuego o lesiones personales:

- Sustituya las pilas sólo en áreas donde no haya riesgo de explosión.
- Sustituya las pilas cuando se muestre el indicador de nivel de pilas bajo para evitar que se produzcan mediciones incorrectas.

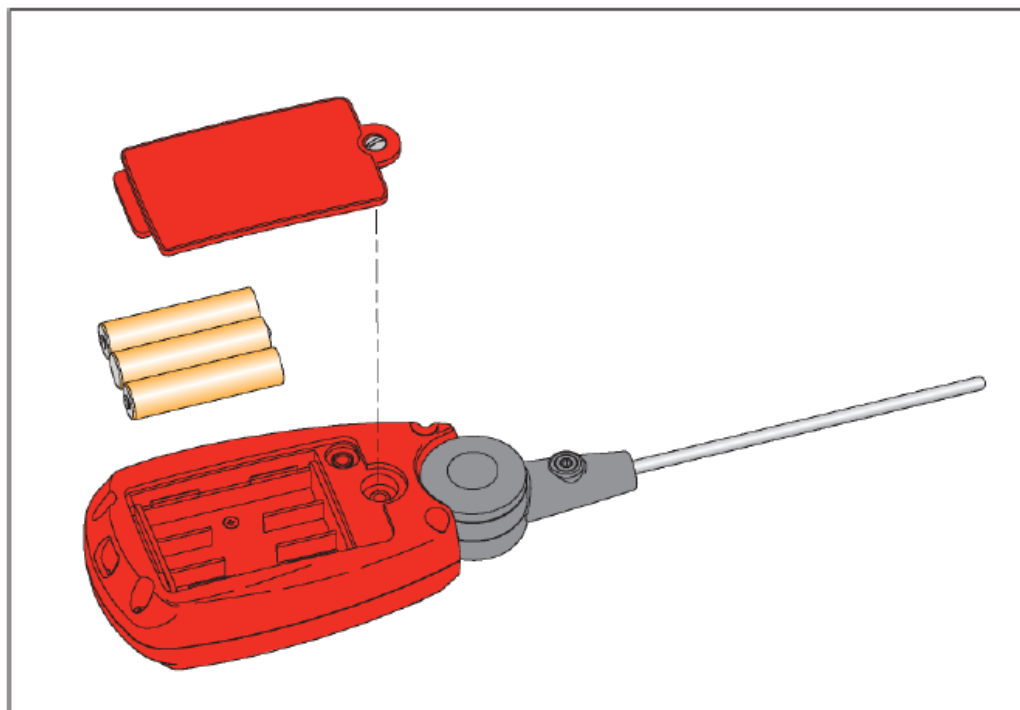
##### **⚠ Precaución**

Para evitar posibles daños en el Producto o el equipo que se esté probando:

- Si no va a utilizar el Producto durante un periodo de tiempo prolongado, quite las pilas para evitar que se produzcan fugas o daños.
- Asegúrese de que la polaridad de las pilas es correcta para evitar fugas.

Para cambiar las pilas, consulte la figura 4:

1. Utilice un destornillador plano para aflojar el tornillo integrado en la tapa del compartimento de las pilas.
2. Retire la tapa para acceder a las tres pilas AAA.
3. Sustitúyalas solo por las pilas AAA aprobadas que se indican en este documento. Consulte la Tabla 3. Cualquier sustitución anula la categoría de seguridad del Producto.
4. Asegúrese de que la polaridad de las pilas es correcta.
5. Coloque de nuevo la tapa del compartimento de las pilas y el tornillo.



gjo003.bmp


Figura 4. Reemplazo de las pilas

1551A/1552A Ex  
Users Manual

**Tabla 3. Baterías aprobadas**

Batería	Fabricante	Tipo
AAA alcalinas (IEC LR03)	Duracell	MN2400
	Energizer	E92VP
	Panasonic	LR03WXA

**Duración de la pila**

La duración de las pilas es de aproximadamente 300 horas (12,5 días) de funcionamiento continuo con la retroiluminación desactivada. Cuando el nivel de pilas sea bajo, se mostrará un icono de nivel de pilas bajo (  ) en la parte inferior derecha de la pantalla. Sustituya las pilas según las recomendaciones que se proporcionan en la sección de especificaciones de este manual.

**Calibración**

Para obtener información sobre la calibración, consulte el Manual de calibración.

Apéndice 3. Extracto manual fabricante Termómetro FLUKE. Parte 3

# ADDENDA

ANSI/ASHRAE/ACCA Addendum to  
ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 180-2008

# Standard Practice for Inspection and Maintenance of Commercial Building HVAC Systems

Approved by the ASHRAE Standards Committee on January 21, 2012; by the ASHRAE Board of Directors on January 25, 2012; by the Air Conditioning Contractors of America on November 18, 2011; and by the American National Standards Institute on January 26, 2012.

This addendum was approved by a Standing Standard Project Committee (SSPC) for which the Standards Committee has established a documented program for regular publication of addenda or revisions, including procedures for timely, documented, con-sensus action on requests for change to any part of the standard. The change submittal form, instructions, and deadlines may be obtained in electronic form from the ASHRAE Web site ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)) or in paper form from the Manager of Standards.

The latest edition of an ASHRAE Standard may be purchased on the ASHRAE Web site ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)) or from ASHRAE Customer Service, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305. Email: [orders@ashrae.org](mailto:orders@ashrae.org). Fax: 404-321-5478. Telephone: 404-636-8400 (worldwide), or toll free 1-800-527-4723 (for orders in US and Canada). For reprint permission, go to [www.ashrae.org/permissions](http://www.ashrae.org/permissions).

© 2012 ASHRAE and ACCA

ISSN 1041-2336



Apéndice 4. Norma para mantenimiento de aires acondicionados.

**INSTRUCTION MANUAL**  
IM010



# Models 3656 / 3756

INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS

 **GOULDS**  
WATER TECHNOLOGY  
a xylem brand

## Mantenimiento

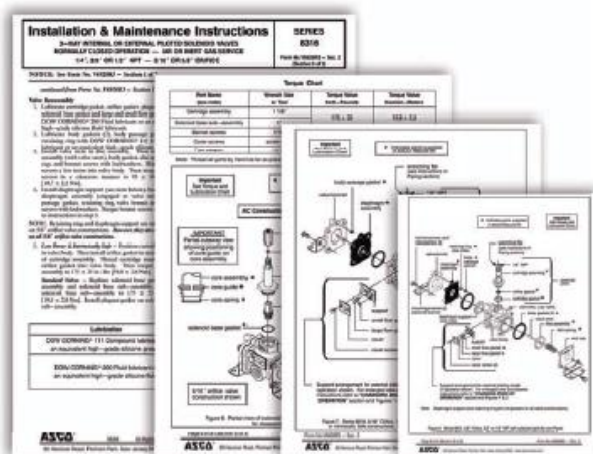
### Mantenimiento:

1.- Realizar inspecciones y limpiezas periódicas de la válvula y el filtro.

2.- En caso de algún mantenimiento correctivo, confirmar que el problema radica en la válvula y no es causado por otras condiciones en el sistema (falla eléctrica, exceso de residuos, daño mecánico, etc.).

3.- Seguir siempre las instrucciones indicadas en las hojas de instalación y mantenimiento contenidas dentro del empaque de cada válvula y asegurarse de contar con el kit de reconstrucción (en caso de ser necesario) al momento de realizar los cambios, esto con el fin de evitar la posible pérdida de piezas.

4.- Limpiar el interior de la válvula con un paño que no genere residuos.



[www.ASCO.com](http://www.ASCO.com)

01-800-000 ASCO (2726)



## Serie 92/93 Actuador Neumático Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento

Retire el puntero indicador de posición negro (23) para exponer las partes planas de la llave en la parte superior del piñón (3).

Gire la válvula a la posición deseada utilizando una llave inglesa en las partes planas de la llave en la parte superior del piñón(3).

Afloje la tuerca de bloqueo (12) en el tornillo de tope de carrera (13). No es necesario quitar la tuerca por completo. Con la llave hexagonal, gire el tornillo hacia adentro o hacia afuera hasta que se alcance la posición de tope de carrera deseada. Mientras sujeta el tornillo con la llave hexagonal, apriete la tuerca de bloqueo (12) con la llave de extremo de caja.

Reemplace el puntero indicador de posición (23) asegurándose de que el puntero esté alineado con la posición de la válvula, abierto o cerrado.

Algunas válvulas o condiciones de operación requieren que el actuador tenga más de 5° de ajuste de viaje. Para estas condiciones, el actuador Serie 92/93 puede equiparse con topes de carrera prolongados en las tapas de extremo (Consulte la página 11 para obtener instrucciones sobre cómo encontrar datos dimensionales). Consulte al distribuidor de Bray en su área para esta opción.

Los actuadores de retorno por resorte pueden funcionar con un solo suministro de aire conectado al puerto A, ya que los cartuchos de resorte moverán los pistones cuando se elimine la presión del aire. Esta operación, sin embargo, atraerá la atmósfera circundante a las cámaras del resorte a través del Puerto B.

### AVISO

Para evitar que la contaminación entre en la cámara del resorte, los actuadores configurados para funcionar con un solo suministro de aire conectado al puerto A deben estar equipados con un elemento de filtro de 40 micras (o más fino) instalado en el puerto B.

Se puede obtener un servicio aún mejor en actuadores de retorno por resorte instalando una solenoide de cuatro vías, que cubre tanto el puerto A como el puerto B. Una solenoide de cuatro vías llenará las cámaras del resorte con aire comprimido del suministro de aire de la planta con cada carrera. El suministro de aire de la planta es a menudo más

limpio que la atmósfera circundante, especialmente en áreas industriales o químicas pesadas.

### MANTENIMIENTO

Los componentes resistentes y la lubricación de fábrica se combinan para garantizar una vida útil larga y sin problemas para los actuadores de la serie 92/93. La suciedad, el óxido y el agua son las causas más comunes de una vida útil más corta, y generalmente ingresan al actuador a través de la línea de suministro de aire.

Retire la suciedad, el óxido, el agua u otros contaminantes del interior del actuador. Cualquier componente dañado o corroído debe ser reemplazado.

### AVISO

Para alargar la vida útil, se recomienda encarecidamente que se instale un filtro del tamaño adecuado con un elemento de 40 micras (o más fino) adyacente a la entrada del válvula de control direccional (solenoide de aire). Los lubricadores de aire se recomiendan para aplicaciones de ciclos rápidos (10 ciclos o más por minuto).

El mantenimiento de rutina de los actuadores de la Serie 92/93 consiste principalmente en mantener el sistema de suministro de aire cambiando los elementos filtrantes antes de que comiencen a pasar, agregando aceite a los lubricadores antes de que se sequen y evitando que el agua ingrese a las líneas de aire.

La segunda causa más común de acortamiento de la vida útil es la desalineación entre la válvula y el actuador. Esto puede causar una falla prematura debido a cargas laterales excesivas en los bujes y dientes de engranaje.

### AVISO

Para alargar la vida útil, se debe verificar que la conexión mecánica entre el actuador y la válvula esté correctamente alineada y libre para girar en todo el rango de viaje de la válvula.

Figura 1



Apéndice 7. Extracto manual fabricante válvula neumática Bray.

## Manuel d'instructions

MODÈLE  
C7550

Pour de plus amples renseignements  
concernant Porter-Cable, consultez  
notre Website à l'adresse suivante:  
<http://www.porter-cable.com>

**PORTER-CABLE®**

Copyright © 2005, 2008 Porter-Cable

**ENGLISH: PAGE 1  
ESPAÑOL: PÁGINA 25**

Pour les compresseurs d'air  
lubrifiés à phases unique  
d'installation fixe



### IMPORTANT

*Veuillez vous assurer que la personne qui utilise cet outil lit attentivement et comprend ces instructions avant de commencer à utiliser l'outil.*

La plaque des numéros de modèle et de série est située sur le boîtier principal de l'outil. Prenez note de ces numéros dans les espaces ci-après et conservez-les pour référence future.

No. de modèle \_\_\_\_\_

Type \_\_\_\_\_

No. de séries \_\_\_\_\_

55-SP

1000003897

No. de pièce N003897-MAR08-0

Algunos dispositivos o herramientas neumáticas pueden requerir aire filtrado. Lea las instrucciones del dispositivo o la herramienta neumática.

#### Cómo poner en marcha

1. Mueva la palanca On/Auto/Off a la posición "On/Auto" y deje que se incremente la presión del tanque. El motor se detendrá una vez alcanzado el valor de presión "de corte" del tanque.
2. Cuando la presión del tanque alcance el valor de "presión de corte", se abrirá la válvula de asiento.

**IMPORTANTE:** al utilizar un regulador y otros accesorios, refiérase a las instrucciones del fabricante.

**▲ ADVERTENCIA:** Si observa algún ruido o vibración inusuales, apague el compresor y contacte a un técnico calificado en servicio.

El compresor estará listo para ser usado.

## MANTENIMIENTO

### RESPONSABILIDADES DEL CLIENTE

	Antes de cada uso	Diariamente o luego de cada uso	Cada 8 horas	Cada 40 horas	Cada 100 horas	Cada 160 horas	Anualmente
Verifique la válvula de seguridad	X						
Drenaje del tanque		X					
Pérdidas de aceite			X				
Verifique el aceite de la bomba			X				
Cambie el aceite de la bomba						X	
Ruido inusual y/o vibración			X				
Filtro de aire					X (1)		
Estado de la correa				X			
Alineado de la polea/volante del motor					X		
Válvulas de entrada y escape de la bomba del compresor de aire							X
Inspección de eventuales fugas en las cañerías de aire y las conexiones.	X						
Pernos del Cabezal-Verificar el torque de los pernos del cabezal después de las primeras 5 horas de operación.							
1- Más frecuente en condiciones polvorientas o húmedas.							



**VA40 - VA45** Manual

Caudalímetro de área variable

## 6.1 Mantenimiento

El caudalímetro debe inspeccionarse para detectar signos de suciedad, corrosión, desgaste mecánico y daños del vidrio de medida durante el mantenimiento ordinario del sistema y las tuberías. Le aconsejamos que las inspecciones se lleven a cabo al menos una vez al año.

Para VA40 (aséptica) una llave de correa, se recomienda abrir el caudalímetro.

Para equipos con conexión bridada, la tuerca de unión en el vidrio de medida debe apretarse firmemente. A continuación, apriete la conexión bridada.



### ¡PRECAUCIÓN!

- *Los tubos bajo presión se tienen que despresurizar antes de retirar el equipo.*
- *Vacíe las tuberías lo más posible.*
- *Si los equipos se utilizan para medir productos agresivos o peligrosos, es necesario tomar las precauciones de seguridad adecuadas con relación a los líquidos residuales en la unidad de medida.*
- *Afloje sólo la conexión a proceso de la tubería (excepto en los equipos con rosca hembra)*
- *Utilice siempre juntas nuevas al reinstalar el equipo de medida en la tubería.*
- *Para las conexiones roscadas asegúrese de la junta tórica ① está colocada correctamente.*
- *Evite las cargas electrostáticas al limpiar las superficies (por ej. la ventana de inspección).*
- *A la hora de sustituir las juntas en la versión aséptica, emplee materiales conformes a las normas de la FDA, por ejemplo, EPDM.*
- *Compruebe la estanqueidad por los métodos adecuados antes de volver a poner en servicio el equipo de medida.*



- ① Junta de sellado  
 ② DN15 - tope del flotador superior  
 ③ DN15 - tope del flotador inferior

- Se seleccionan por lo menos 5 diferentes cargas (para básculas de alto alcance de medición).  
Las cargas de pruebas seleccionadas deben incluir [Máx] y [Mín], y valores cercanos a aquellos puntos en los cuales cambian los errores máximos tolerados [EMT].  
Debe notarse que cuando las pesas se cargan o descargan la carga debe ser incrementada o decrementada similarmente.  
Para realizar esta prueba se debe tomar en cuenta lo establecido a continuación.  
Sustitución de pesas patrón.  
Cuando se prueban instrumentos con [Máx] mayor a 1 tonelada y menor o igual a 5 toneladas, en lugar de pesas patrón puede ser usado cualquier carga constante, de tal forma que las pesas patrón sean el 50% de [Máx], siempre como mínimo una tonelada.  
En lugar del 50% del [Máx], la división de pesas patrón puede ser reducida a:  
35% del [Máx] si el error de repetibilidad no es mayor de 0,3 [e],  
20% del [Máx] si el error de repetibilidad no es mayor que 0,2 [e].  
El error de repetibilidad puede ser determinado con una carga alrededor del 50% del [Máx], colocando tres veces las cargas en el receptor.  
Para instrumentos de alto alcance de medición se debe utilizar por lo menos el 10% del alcance máximo de medición.  
Se puede utilizar material de sustitución después del 10% (máximo).  
{ej. 5 cargas: Mín, 1/4 Máx, 1/2 Máx, 3/4 Máx, y si es posible Máx}.  
{ej. 10 cargas: de 10 en 10% del Máx, para facilitar la prueba se debe considerar el utilizar lo menos posible pesas fraccionarias y así evitar el apilamiento de pesas pequeñas aunque no coincida aritméticamente el porcentaje.  
Los resultados obtenidos no deberán exceder del valor absoluto del error máximo tolerado para la carga dada.  
El valor absoluto es la diferencia entre el valor nominal de la carga y el valor obtenido.

Apéndice 12. Extracto de Norma para comprobación de balanzas.

**Manual de instrucciones ES**

**Manómetros**

CE UK CA

Ejemplos:

Modelo 213.40

Modelo 23x.50

Modelo 63x.50

**WIKAI**

Part of your business

**Reglamento de equipos a presión**

- Los manómetros son definidos como "instrumentos de medición de presión"
- El volumen de la caja sometida a "presión de los manómetros" de WIKA es de < 0,1 L
- Los manómetros llevan la marca de conformidad CE, UKCA del grupo de fluido 1, según anexo II, gráfico nº 1, a partir de una presión de funcionamiento admisible de > 200 bar

Los instrumentos que no llevan la marca se fabrican de acuerdo con el artículo 4, apartado 3, "buenas prácticas de ingeniería".

**Normas aplicables (en función del modelo)**

EN 837-1 Manómetros con muelle tubular, medidas, técnica de medición, exigencias y comprobación

EN 837-2 Manómetros, recomendaciones relativas a la selección y montaje

EN 837-3 Manómetros con muelles de membrana elástica, medidas, técnica de medición, exigencias y comprobación

Este manual de instrucciones es válido únicamente en conjunto con la hoja técnica del instrumento respectivo. Cumplir las especificaciones descritas allí. Véase [www.wika.es](http://www.wika.es).

Modificaciones técnicas reservadas.  
© WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG 2009

Importer for UK  
**WIKAI Instruments Ltd**  
Unit 6 and 7 Goya Business park  
The Moor Road  
Sevenoaks  
Kent  
TN14 5GY

**WIKAI Alexander Wiegand SE & Co. KG**  
Alexander-Wiegand-Straße 30  
63911 Klingenberg/Germany  
Tel. +49 9372 132-0  
Fax +49 9372 132-406  
info@wika.de  
www.wika.de

2408976.08 10/2022

**1. Seguridad**

**¡ADVERTENCIA!**  
Antes del montaje, la puesta en servicio y el funcionamiento asegurarse de que se haya seleccionado el manómetro adecuado con respecto al rango de medición, versión y el material apropiado de las partes mojadas (corrosión) teniendo en cuenta las condiciones de medición en la aplicación respectiva. Para garantizar la exactitud de medición y la durabilidad del instrumento, se deberán respetar los límites de carga.

Los instrumentos de medición de presión solo pueden ser montados por personal cualificado y tras previa autorización del responsable de la planta.

Para las sustancias peligrosas, tales como oxígeno, materiales de acetileno, inflamables o tóxicos, y con los sistemas de refrigeración, compresores, etc deben respetarse las normas correspondientes o reglamentos existentes.

En manómetros que no cumplen con la versión de seguridad conforme a la norma EN 837, el fallo de un componente puede provocar un escape del fluido de medición a alta presión a través de la mirilla. Para medios gaseosos y con una presión de servicio > 25 bar se recomienda un manómetro con versión de seguridad S3 conforme a la norma EN 837-2.

Después de un incendio externo se puede escapar el fluido de medición sobre todo en juntas de soldadura blanda. Todos los instrumentos deben ser verificados antes de la puesta en servicio y en dado caso cambiados.

Se debe cumplir las notas de seguridad en este manual de instrucciones, así como la validez de las normas de seguridad de la unidad, de prevención de accidentes y protección del medio ambiente.

**2. La conexión mecánica**

Conforme a las normas técnicas generales para manómetros (por ejemplo, EN 837-2). Para roscar el instrumento, la fuerza no debe aplicarse sobre la caja, sino únicamente sobre las superficies claves previstas para este fin, utilizando herramientas adecuadas.

**Montaje mediante llave de boca**

**Sellado de las conexiones del manómetro**

Para roscas cilíndricas deben emplearse juntas planas, arandelas de sellado o juntas perfiladas WIKAI en la superficie de sellado ①. Para roscas cónicas (por ejemplo, roscas NPT) el sellado se realiza en la rosca ②, con material de sellado complementario, como por ejemplo, cinta PTFE.

El par de apriete depende de la junta utilizada. Para poner el instrumento de medición en la posición que proporcionará la mejor lectura, se recomienda una conexión con un manguito tensor o tuerca tapón.

En manómetros con disco de seguridad, éste debe protegerse contra un bloqueo debido a residuos del dispositivo o suciedad. Para manómetros de seguridad (reconocibles por la ) debe dejarse un espacio libre > 20 mm detrás de la pared con disco de seguridad.

Tras el montaje, se debe abrir la válvula de ventilación (si existe), o llevarla de CLOSE a OPEN.

¡La ejecución de la válvula de ventilación depende del modelo y puede variar con respecto a la figura de arriba!

**Requerimientos en el lugar de instalación**

Si el tubo que conecta al instrumento no fuera suficientemente estable para asegurar una conexión exenta de vibraciones, se debe efectuar la sujeción mediante un soporte (si es necesario, mediante un tubo capilar flexible). En el caso de no poder evitar las vibraciones mediante las instalaciones apropiadas, deben instalarse manómetros rellenos de líquido amortiguador. Los instrumentos deben protegerse contra contaminación y fuertes oscilaciones de la temperatura ambiente.

La fijación del instrumento y el soporte de su peso debe realizarse mediante el conducto de conexión a presión.

**3. Las temperaturas ambiente y de funcionamiento permitidas**

Se debe efectuar la instalación del manómetro de tal forma que no se excedan los límites permitidos de la temperatura ambiente, incluyendo la influencia de convección y la radiación térmica. ¡Debe tenerse en cuenta la influencia de la temperatura en la exactitud de indicación!

**4. Almacenamiento**

Para evitar daños mecánicos, los manómetros deben ser guardados en su embalaje original hasta el momento de su montaje.

Proteger los instrumentos de medición de humedad y polvo.

Temperatura de almacenaje: -40 ... +70 °C  
Temperatura de almacenaje modelo PG23LT: -70 ... +70 °C

**5. Mantenimiento y reparaciones**




Los manómetros no requieren mantenimiento. Mediante comprobaciones periódicas se debe asegurar la exactitud de medición.

En el caso de instrumentos de medición de presión con dispositivos de expulsión o manómetros de seguridad, los elementos de seguridad (p. ej., tapón de expulsión o disco de seguridad) deben sustituirse a los 10 años. La sustitución solo puede ser realizada por personal cualificado utilizando piezas originales y tras previa autorización del responsable de planta.

Para realizar el desmontaje se debe cerrar la válvula de ventilación (si existe).

**¡ADVERTENCIA!**  
Los medios residuales en los manómetros desmontados pueden provocar daños a las personas, al medio ambiente y a los equipos. Tome las medidas de precaución adecuadas.

**RE: Mantenimiento UPS**

 Daniel Padilla Gamboa  
Para  Daniel Murillo Borges  
CC  Andres Esquivel Soto

martes 14/11/2023 08:34

Buenos días compañero.

Si la UPS funciona bien y el mantenimiento que requiere es una limpieza, puede hacer una solicitud en Somos Ayuda y si es posible llevar la UPS a la oficina de Informática y ahí con mucho gusto la realizamos.

Ahora bien, si la UPS tiene problemas en las baterías u otra situación física, que requiera un cambio de parte, lamentablemente no tenemos repuestos, por lo que posiblemente habría que realizar el desecho.

Saludos.


---

**De:** Daniel Murillo Borges <[danmurillo@aya.go.cr](mailto:danmurillo@aya.go.cr)>  
**Enviado el:** lunes, 13 de noviembre de 2023 11:54  
**Para:** Daniel Padilla Gamboa <[jpadilla@aya.go.cr](mailto:jpadilla@aya.go.cr)>  
**Asunto:** Mantenimiento UPS

Buenos días compañero

Una consulta con respecto a las ups, el laboratorio de flujo de agua puede hacerle mantenimiento preventivo a las mismas.  
O bien quien es el responsable de estas.  
Gracias, buen día.

Saludos!



**DANIEL MURILLO BORGES**  
GESTOR EXPERTO  
UEN INVESTIGACION Y DESARROLLO  
Más y mejores servicios · Eficiencia · Comunicación

+506 2242-5000 / Ext. 3393  
danmurillo@aya.go.cr  
www.aya.go.cr  
SEDE - PAVAS

Apéndice 14. Respuesta Departamento de TI sobre UPS.

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

San José, Costa Rica

Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-3393 - danmurillo@aya.go.cr

**MEMORANDO**

No.UEN-ID-2023-00531

**FECHA:** 8 de noviembre del 2023**PARA:** Jorge Merizalde Dobles  
UEN Investigación y Desarrollo**DE:** Daniel Murillo Borges  
UEN Investigación y Desarrollo**ASUNTO:** Autorización de información institucional para uso en tesis de graduación

---

Estimado director Jorge Merizalde Dobles, solicito de su autorización para utilizar datos de los equipos del laboratorio, para usarlos en mi trabajo final de graduación para optar por el bachillerato en ingeniería electromecánica, en el caso de mi trabajo final de graduación únicamente utilizaré las fichas técnicas de los equipos y documentos relacionados con el tratamiento de estos. Con esta información puedo respaldar el desarrollo del trabajo.

Firmado digitalmente por  
DANIEL MURILLO BORGES (FIRMA)  
Fecha y hora: 08/11/2023 11:12 AM



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
San José, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5910 - jmerizalde@aya.go.cr

**MEMORANDO**  
**N.º UEN-ID-2023-00544**

**FECHA:** 09 de noviembre de 2023

**PARA:** Daniel Murillo Borges  
UEN Investigación y Desarrollo

**DE:** Firmado digitalmente por  
JORGE GUILLERMO MERIZALDE DOBLES (FIRMA)  
Fecha y hora: 09/11/2023 07:41 AM  
UEN Investigación y Desarrollo

**ASUNTO:** R/UEN-ID-2023-00531 - Autorización uso información institucional para tesis

---

En respuesta a su oficio UEN-ID-2023-00531, por este medio autorizo a Ud. el uso de la información contenida en las fichas técnicas y documentos relacionados con el tratamiento de los equipos del Laboratorio de Flujo de Agua (LFA), con el fin de respaldar el desarrollo de su tesis de graduación.

Apéndice 16. Autorización recopilar información de los equipos LFA.



INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

## **Instrucción de trabajo: Elaboración de Estimación de cargas de trabajo**

Código: CEG-11-02-I3

Apéndice 17. Instructivo sobre estimación de cargas de trabajo.



## **Procedimiento:** Manipulación de los ítems de calibración

**CÓDIGO: LFA-15-P**

Apéndice 18. Procedimiento sobre manipulación de los ítems de calibración.

## RE: Registro de fallas de los equipos del LFA



Alejandro Gamboa Vazquez

Para Daniel Murillo Borges



Iniciar la respuesta a todos con:

[Muchas gracias por la información.](#)[Muchas gracias.](#)[Gracias por la información.](#)[Comentarios](#)

Muy buenas tardes don Daniel, lastimosamente al día de hoy el laboratorio no tienen un registro del historial de fallo de los equipos

saludos

**De:** Daniel Murillo Borges <[danmurillo@aya.go.cr](mailto:danmurillo@aya.go.cr)>

**Enviado:** lunes, 8 de enero de 2024 13:39

**Para:** Alejandro Gamboa Vazquez <[agamboav@aya.go.cr](mailto:agamboav@aya.go.cr)>

**Asunto:** Registro de fallas de los equipos del LFA

Buenos días, Ing. Alejandro Gamboa.

El presente es para hacerle la consulta de que si el Laboratorio de hidrómetros posee algún tipo de registro de fallas con el cual apoyarse para generar un historial

Gracias, buen día.

Saludos!

Apéndice 19. Respuesta encargado técnico sobre registro de fallas.



**Leaho Refrigeración Industrial S.A.**

Cédula Jurídica: 3101204902

Avenida 6, San José

Teléfono 22399070

mifacturaelectronica@leaho.com

<http://www.leaho.com>

Fecha: 26/01/2024

Pedido: SO492341

Plazo: 0 días

<b>Pedido:</b>	<b>SO492341</b>		
<b>Cliente:</b>	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.	<b>ID / Ced. Jur</b>	116810274
<b>Teléfono:</b>	22425000	<b>Referencia / Descripción</b>	SO492341
<b>Dirección:</b>	N/A	<b>Vendedor</b>	Marta Madriz
<b>Contacto:</b>	N/A		

Cantidad	Descripción	Precio	Descuento	Total
1.0	[1501139] HERR.JUEGO MANOMETRO R-410 800-4000PSI	27,500.00	0.00	27,500.00
1.0	[1311140] HERR.ADAPTADOR 5/16 H X 1/4 M FLARE	4,995.00	0.00	4,995.00

<p><b>Gracias por confiar en nuestra empresa.</b>  <b>www.leaho.com</b>            Cuentas Banco de Costa Rica:            c 001-318066-2 CC 15201001031806627            \$ 001-318068-9 CC 15201001031806892  <b>Refrigeración Industrial - Aire Acondicionado - Planta de Producción</b>  <b>Energía Solar - Diseño de Proyectos - Proyectos llave en mano</b></p>	<b>Subtotal:</b>	<b>₡ 32,495.00</b>
	<b>Impuesto:</b>	<b>₡ 4,224.35</b>
	<b>Total:</b>	<b>₡ 36,719.35</b>

### **Duración del programa**

El programa consta de 16 cursos bimestrales, de los cuales 4 cursos son nivelatorios (24 horas de duración cada uno).

### **Inversión**

El valor actual es de ₡111.000,00 (IVA) por cada uno de los 16 cursos del programa (puede variar durante el año).

### **Requisitos de ingreso y matrícula**

- Mínimo tercer año de secundaria aprobado.
- En caso de que el curso indique no presencial el estudiante debe contar con Internet, computadora o Tablet.
- Solicitar espacio y participar de la charla inductiva (virtual).  
**Se deben enviar los siguientes documentos en formato PDF mínimo tres días antes de la charla:**
  1. Fotocopia de cédula ambos lados.
  2. Copia del título de bachillerato o tercer año de secundaria aprobado (requisito indispensable). El original se solicitará como requisito de graduación.
  3. Si tiene conocimiento certificado en Microsoft Office, presentar copia de certificados.
  4. Si tiene alguna especialidad técnica, copia del título.
  5. Si trabaja, presentar una carta que describa sus funciones por parte de la empresa empleadora.
  6. Formulario solicitud nuevo ingreso lleno (adjunto).

Enviar los documentos al correo electrónico [macastillo@itcr.ac.cr](mailto:macastillo@itcr.ac.cr) solicitando espacio a la charla. Una vez revisados y aprobados los documentos se le enviará el link para poder participar de la reunión.