	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	1 de 105

MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS PARA LABORATORIO DE METROLOGÍA EN ASCAVI GROUP

autor

MATEO CAMILO PERALES VEGA

Directora

YARA A. OVIEDO DURANGO

Ing. En Mecatrónica


Msc. Controles Industriales

INGENIERÍA MECATRÓNICA
DEPARTAMENTO MMI
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA




UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, Junio 2020


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	2 de 105

ÍNDICE GENERAL


AGRADECIMIENTOS	8
RESUMEN	9
OBJETIVOS	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: LA NECESIDAD DE TENER UN PLAN DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO Y MANTENIMIENTO DE ACTIVOS EN PLANTA	13
Introducción al Concepto de Metrología	13
Vocabulario Internacional de Metrología: Concepto, Finalidad e Importancia.	14
Plan de Aseguramiento Metrológico	16
CAPÍTULO II: NORMATIVA DE METROLOGÍA Y REGULACIÓN DE INDUSTRIAS, CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS Y FICHAS TÉCNICAS DE DESEMPEÑO.	22
Organismos Reguladores, Normalizadores y Estandarizadores	22
Organización Internacional de Normalización	22
Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC)	23
Oficina Internacional de Pesos y Medidas	23
Organización Internacional de Metrología Legal	24
Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC)	24
Normativa a tener en cuenta	25
NTC-ISO/IEC 17025	26
Clasificación de Dispositivos en Planta	26
Pasantía en Metrología Básica	28
Pasantía en Espectrofotometría y Óptica	28
Luminómetro de ATP	35
Colorímetros (detectores de cloro libre y/o cloro total)	37
Refractómetros	38
Pasantía en Termodinámica	39
Instrumentación Implementada en la Medición de Variables Termodinámicas	40
Termómetros	40
Termómetros de dilatación	41

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	3 de 105

Termorresistencias	41
Termopares	42
Termohigrómetros	43
Pasantía en Volumetría y Gravimetría	44
Pasantía en Medida de Masa y Equipos de Pesaje	44
Receptor de carga	45
Dispositivo transmisor de carga	45
Dispositivo de medición de carga	45
Módulo	45
Celda de carga	45
Indicador	45
Terminal	45
Dispositivo de nivelación	46
Pasantía en Electroquímica	46
Medición de pH	46
Aplicaciones de los ISFET para medición de pH	49
Medida de Conductividad	50
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS.	53
Metodología de Diagnóstico	54
Análisis de Continuidad de Funcionamiento	57
Metodología de Mantenimientos Preventivos, Correctivos y/o Reparaciones	58
Metodología de Calibraciones	61
Ajuste de medida de dispositivos en intervención metrológica	62
Calibración de dispositivos medidores de masa	64
Calibración de dispositivos medidores de temperatura, y temperatura-humedad relativa	65
Calibración de luminómetros	66
Calibración de Crioscópios	67
Calibración de pH metros o potenciómetros	67
Calibración de equipos de volumen (pipetas, micropipetas, dosificadores)	68
Calibración de un estándar externo	68


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	4 de 105

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE EJEMPLOS DE INTERVENCIONES METROLÓGICAS Y DE SERVICIO TÉCNICO.	70
Descripción de Intervenciones de Servicio Técnico	70
Diagnóstico de funcionamiento de un Crioscópio y posterior mantenimiento correctivo.	70
Diagnóstico de falla de un floculador y posterior mantenimiento correctivo.	74
Diagnóstico de funcionamiento de un Analizador de leche y posterior mantenimiento preventivo	77
Descripción de Intervenciones Metrológicas	81
Calibración de Analizador de Leche	81
Calibración de Balanza	83
Calibración de Termómetros y Termohigrómetros	84
Calibración de Luminómetro	85
Cálculos estadísticos de incertidumbre, desviaciones y errores	86
Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos medidores de temperatura	87
Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos medidores de masa	88
Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos con sensores electroquímicos	90
Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos pertenecientes a la magnitud de óptica	92
Errores máximos permitidos en las mediciones	95
Errores máximos permitidos para dispositivos medidores de masa	95
Errores máximos permitidos para instrumentos volumétricos	96
Errores máximos permitidos para instrumentos medidores de variables ópticas	98
Calibración de longitud de onda.	98
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	103

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	5 de 105


LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de un espectrofotómetro.	31
Figura 2. Espectrofotómetro de absorción atómica	34
Figura 3. Espectrofotómetro UV-visible.....	34
Figura 4. Espectrofotómetro infrarrojo.....	35
Figura 5. Procedimiento de muestreo de superficies con hisopo.....	37
Figura 6. Procedimiento de análisis de muestras para detección de cloro libre	38
Figura 7. Señales de respuesta de varios tipos de termopares.....	43
Figura 8. Componentes básicos de un instrumento de pesaje.	46
Figura 9. Estructura básica de un electrodo de pH	47
Figura 10. Estructura de un electrodo de vidrio	48
Figura 11. ISFET para medir pH.	49
Figura 12. Medición de conductividad	51
Figura 13. Estructura de un electrodo para medición de conductividad electrolítica.....	53
Figura 14. Formato de informe de servicio técnico.	60
Figura 15. Sticker informativo de servicio técnico.	60
Figura 16. Prueba de excentricidad en plataformas de pesaje rectangulares y circulares.....	65
Figura 17. Sticker informativo de calibración.....	69
Figura 18. Crioscópio.....	72
Figura 19. Interfaz de crioscopio.....	72
Figura 20. Inspección interna de crioscopio.....	73
Figura 21. Etapa de regulación de energía de crioscopio.	73
Figura 22. Termistor de crioscopio.....	74
Figura 23. Circuito de potencia y control de floculador (averiado).	76
Figura 24. Circuito de alimentación principal de floculador (en intervención).	76
Figura 25. Circuito de alimentación principal de floculador (restaurado).	77
Figura 26. Analizador de leche.	79
Figura 27. Inspección interna de analizador de leche.....	79
Figura 28. Limpieza preventiva de tarjeta principal de control de analizador de leche.	80
Figura 29. Limpieza preventiva de sensor ultrasónico de analizador de leche.....	80

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	6 de 105


LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de dispositivos por modo y/o lugar de operación.....	18
Tabla 2. Clasificación de dispositivos medidores de acuerdo a la magnitud y/o variable que miden.	19
Tabla 3. Ejemplo de lista de operaciones en una intervención de servicio técnico.	20
Tabla 4. Clasificación de pasantías de variables metrológicas y su correspondiente magnitud.	27
Tabla 5. Características de los refractómetros analógicos y digitales.	39
Tabla 6. Tipos de termopares.....	42
Tabla 7. Metodología de actividades de diagnóstico a equipos medidores.....	55
Tabla 8. Paralelo de metodología de intervenciones de servicio técnico.....	58
Tabla 9. Rango de medidas de luminómetros SystemSure y EnSure.....	66
Tabla 10. Patrones de calibración para luminómetros SystemSURE y EnSure.	66
Tabla 11. Resultados de medición de propiedades de leche alta y baja en grasa.....	82
Tabla 12. Rangos de errores máximos permitidos para medición de parámetros de análisis de leche.....	82
Tabla 13. Masas usadas en el proceso de calibración.....	83
Tabla 14. Resultados de prueba de repetibilidad 1.	83
Tabla 15. Resultados de prueba de repetibilidad 2.	83
Tabla 16. Resultados de prueba de excentricidad.	84
Tabla 17. Resultados de prueba de exactitud.....	84
Tabla 18. Resultados de medida de termómetros de prueba y patrón.....	84
Tabla 19. Resultados de medición promedio de comparación de termómetros de prueba y patrón.	85
Tabla 20. Resultados de calibración con estándar positivo y negativo para luminómetros SystemSURE y EnSure.....	85
Tabla 21. Resultados de calibración con método side by side para luminómetros SystemSURE y EnSure.	85
Tabla 22. Clasificación de dispositivos de pesaje de acuerdo a la escala de verificación.	88
Tabla 23. Valores de error e incertidumbre para masas patrón.....	90
Tabla 24. Errores máximos permitidos para cargas crecientes y decrecientes.	96
Tabla 25. Errores máximos permitidos para pipetas tipo A y D1.....	97
Tabla 26. Errores máximos permitidos para pipetas tipo D2.....	97
Tabla 27. Absorción máxima para solución de holmio en ácido perclórico.....	98
Tabla 28. Longitud de onda de absorción máxima en cristales del holmio y didimio.	99
Tabla 29. Líneas de emisión para varios tipos de material de lampara.	99

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	7 de 105


LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	29
Ecuación 2	47
Ecuación 3	87
Ecuación 4	87
Ecuación 5	88
Ecuación 6	88
Ecuación 7	89
Ecuación 8	91
Ecuación 9	91
Ecuación 10	91
Ecuación 11	92
Ecuación 12	92
Ecuación 13	93
Ecuación 14	93
Ecuación 15	93
Ecuación 16	93
Ecuación 17	94
Ecuación 18	94
Ecuación 19	95

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	8 de 105

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios primeramente por haber elegido esta carrera para mí y por guiarme a conseguir cada meta trazada. A mi familia y seres queridos que siempre fueron mi apoyo fundamental. A mis maestros y compañeros por enseñarme las bases sobre las cuales se fundamenta lo que sigue en un futuro. A la empresa que me permitió hacer mis prácticas y aprender muchas cosas del área laboral. A mí mismo por la dedicación y el esfuerzo que me permitieron llegar a esta etapa.


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	9 de 105

RESUMEN

El presente trabajo escrito tiene la finalidad de reportar el desarrollo de las actividades de mantenimiento, validación, verificación y calibración realizadas en un laboratorio de metrología. Además de esto, se estudia también ampliamente la normativa a tener en cuenta para la realización de estas actividades, como también las pasantías o capacitaciones que se hubo de obtener para entrar a poseer las capacidades de realizar intervenciones tanto de carácter metrológico como de mantenimiento.

Se pretende también clasificar el tipo de equipos a intervenir según los estándares establecidos por la metrología. La mencionada clasificación por tipo de variable medida (en caso de equipos medidores) permitirá también unificar en cierto modo el principio de funcionamiento de los equipos clasificados.

Es relevante también especificar el espacio de trabajo de los equipos a intervenir, ya que, de acuerdo a esto puede surgir también otra clasificación que permita definir el tipo de intervención metrológica a realizar según las especificaciones de la normativa descrita.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	10 de 105


OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar acciones de mantenimiento y calibración de equipos para la medición de pH, conductividad, concentración, presión, temperatura, volumen, entre otros; en laboratorio de metrología como práctica empresarial.

Objetivos específicos

- Realizar servicios de mantenimiento preventivo, correctivo y/o reparaciones de los respectivos equipos de medición, de acuerdo a las normas correspondientes para la realización de estos procesos.
- Analizar la viabilidad de continuar utilizando equipos o reportarlos como activos de baja.
- Calibrar equipos de medición implementados en industria y laboratorio, para eliminar errores por pérdida de exactitud en los resultados de la medida basándose en normativa correspondiente a intervenciones metrológicas.
- Monitorear el estado de activos en planta de operaciones, para evaluar su prioridad en la realización de intervenciones metrológicas dentro de un plan de aseguramiento metrológico.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	11 de 105


INTRODUCCIÓN

Actualmente, las industrias son rigurosamente calificadas por entes reguladores de distintos factores vitales para el funcionamiento y el desempeño óptimo de las mencionadas industrias. Se sabe que existe normativa para cada proceso que se pueda llevar a cabo dentro de la planta; por lo cual es importante regirse por esta normativa, con el fin de cumplir a cabalidad todos los requisitos necesarios para la realización de los procesos de producción necesarios para el sostenimiento de la industria.


Específicamente, se pretende tratar el componente de aseguramiento metrológico y mantenimiento que deben tener todas las empresas a fin de mejorar y preservar el funcionamiento de sus activos, como también tener un cierto grado de confiabilidad a la hora de realizar las mediciones necesarias para la realización de los procesos de producción. Es importante afirmar que, para las empresas en la actualidad, este componente debe ser crucial para el desempeño en planta debido a que no solo se cumple con la normativa regulatoria, sino que también garantiza el estado, la calidad y el desempeño de los equipos por un tiempo de vida útil considerablemente mayor, cuando se realiza mantenimiento a los mismos.

Además de lo anterior, también se tratarán en este trabajo escrito un número reducido de industrias que son vigiladas por los entes ya mencionados; estas industrias son, industria de alimentos, industria de higienización e industria médica. El tema de interés a tratar con estas citadas industrias, es el tipo de plan de aseguramiento metrológico que estas deben llevar, ya que haciendo un paralelo entre estas pueden existir diferencias cruciales debido a distintas razones, las cuales pueden ser, que no siempre se utilizan los mismos equipos, que no se miden las mismas variables de proceso, o que simplemente los procesos de producción varían entre planta y planta, por tener varios ejemplos.

Es imprescindible establecer que existen variables metrológicas, las cuales son directamente dependientes de una magnitud particular previamente establecida. De acuerdo entonces con lo anterior puede surgir una clasificación primeramente de magnitudes metrológicas que posteriormente se subdividirán en variables metrológicas. Entonces por medio de lo anterior viene a darse también la clasificación de equipos de acuerdo a la variable metrológica que miden. Es tema de estudio de este trabajo escrito también a parte de las habilidades necesarias para poder realizar dichas intervenciones metrológicas, el mostrar cómo se realizan estas de acuerdo a un organizado formato de pruebas para posterior toma de datos (en el caso de la calibración), o la realización de un inicial diagnóstico pretendiendo encontrar posibles fallos como también su causa a fin de evitar las consecuencias que este pueda desencadenar ejecutando posteriormente un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, según sea el escenario.

	<p>Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica</p>	Código	00
		Página	12 de 105

La realización de las últimas actividades mencionadas anteriormente depende directamente de la composición del equipo a intervenir. Teniendo en cuenta si este es netamente electrónico o mecánico. Haciendo la claridad de que comúnmente se encuentran equipos que integran componentes electrónicas y mecánicas en su funcionamiento. De acuerdo a lo mencionado, se siguen una serie de actividades ordenadas cuyo fin es el de inicialmente diagnosticar cualquier falla o incidencia en el equipo en cuestión. Cabe destacar la importancia de las fichas técnicas que se pueden manejar a fin de obtener información detallada de características como el funcionamiento, desempeño y posibles fallos de cada equipo a intervenir.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	13 de 105

CAPÍTULO I: LA NECESIDAD DE TENER UN PLAN DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO Y MANTENIMIENTO DE ACTIVOS EN PLANTA

Introducción al Concepto de Metrología


Inicialmente, es importante dar un concepto acerca de lo que comprende la palabra metrología. Según el Vocabulario Internacional de Metrología, la metrología es la ciencia que estudia las medidas y sus aplicaciones; también incluye todos los aspectos tanto teóricos como prácticos del proceso de medición teniendo en cuenta la incertidumbre en dicho proceso y su campo de aplicación (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Según el Instituto Nacional de Metrología la metrología se define como la ciencia de las mediciones, incluyendo tanto sus aspectos teóricos como experimentales a cualquier nivel de incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y la tecnología (Metrología, 2019).

Es importante conocer la claridad que hace el BIPM (Oficina Internacional de Pesos y Medidas), al expresar que la ciencia de la medición no es, puramente exclusiva de los científicos. Es algo de vital importancia para todos nosotros. La intrincada pero invisible red de servicios, proveedores y comunicaciones de la que todos dependemos depende de la metrología para su operación eficiente y confiable. Por ejemplo:

- El éxito económico de las naciones depende de la capacidad de fabricar y comercializar productos y componentes fabricados y probados con precisión.
- Los sistemas de navegación por satélite y la correlación horaria internacional hacen posible una ubicación precisa, permitiendo la conexión en red de sistemas informáticos en todo el mundo y permitiendo que los aviones aterricen con poca visibilidad.
- La salud humana depende de manera crítica de la capacidad de hacer diagnósticos precisos y de que la medición confiable sea cada vez más importante.
- Los consumidores tienen que confiar en la cantidad de gasolina entregada por una bomba.

Todas las formas de medición física y química afectan la calidad del mundo en el que vivimos. Debido a la necesidad de un acuerdo internacional sobre asuntos relacionados con la metrología, un tratado internacional conocido como la Convención del Medidor se estableció ya en 1875. Este tratado fundó el BIPM y sigue siendo la base del acuerdo internacional sobre unidades de medida (*BIPM - Worldwide Metrology*, 2020).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	14 de 105


La importancia de la medición en nuestras vidas es considerable debido a que nos desenvolvemos en un ambiente donde casi siempre es imprescindible la exactitud, para la realización de cualquier proceso que genere algún producto.

Es conocido que de acuerdo al área en que se realice el proceso de medida, dicho proceso estará sujeto a condiciones, requisitos y regulaciones que serán distintivos para cada área de desempeño o trabajo. Teniendo en cuenta lo anterior es preciso tener más claridad en que existen específicamente tres tipos de metrología, las cuales se diferencian una a otra de acuerdo al campo donde se aplican. Estos tipos de metrología son los siguientes:

- **Metrología Legal:** Según la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) es la totalidad de los procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas y puestas en vigor por su cuenta con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).
- **Metrología Científica:** Es el conjunto de acciones que persiguen el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades de base y derivadas del Sistema Internacional de Unidades (SI) (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).
- **Metrología Industrial:** La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas. Esto con la finalidad de que pueda garantizarse que los productos están de conformidad con normas. El equipo se controla con frecuencia establecidas y de forma que se conozca la incertidumbre de las mediciones. La calibración debe hacerse contra equipos certificados, con relación válida a patrones, por ejemplo, los patrones nacionales de referencia (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Vocabulario Internacional de Metrología: Concepto, Finalidad e Importancia.

Es importante conocer también que pueden existir términos metrológicos que pueden ser conocidos de otras áreas de estudio, pero que en el ámbito metrológico tienen otra definición. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario que al momento de hablar de metrología deba ser tenido en cuenta el Vocabulario Internacional de Metrología, el cual es un conjunto de conceptos sistematizados que se refieren a la ciencia de la medición. Este documento, ha sido elaborado por el grupo de trabajo 2 del comité conjunto para las guías en metrología (JCGM/WG2) en el que tienen participación las siguientes organizaciones internacionales:

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	15 de 105

- Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).
- Federación Internacional de Química Clínica y Laboratorios Médicos (IFCC).
- Organización Internacional de Normalización (ISO).
- Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC).
- Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC).
- Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP).
- Organización Internacional de Metrología Legal (OIML).


La primera edición de este sistema de conceptos tuvo lugar en 1984, la segunda en 1993 y la tercera edición en 2008 con ajustes realizados en 2012. La importancia de este sistema de conceptos radica en que permite facilitar y estimular la interacción entre los diferentes usuarios de las mediciones en la sociedad (Metrología, 2019).

Es uso del VIM es necesario siempre y cuando se trabaje en cualquiera de las clases de metrología (científica, industrial o legal). Esto permite tener una referencia común y debe usarse para la planificación o realización de mediciones, cualquiera que sea el campo de aplicación y el nivel de incertidumbre de la medida. También cuando se aspire a producir mediciones confiables en cualquier ámbito del sistema productivo de una nación o economía (Metrología, 2019).

La funcionalidad del VIM se describe como un sistema de conceptos metrológicos normalmente. Teniendo en cuenta otra perspectiva, este no es solo un catálogo de definiciones, sino que más bien son definiciones que permiten la articulación del conocimiento metrológico a través de su sistema de conceptos básicos y generalizados. El objetivo del VIM es ser lo menos ambiguo posible, ya que permite la eficaz transferencia de conocimiento científico y tecnológico, permitiendo así que cualquiera que aspire a incursionar en el campo de la metrología, desde cualquier área pueda tener como material de apoyo al VIM.

En pocas palabras, el VIM sirve como una guía conceptual para comunicar el conocimiento metrológico. Sin embargo, no se puede desconocer el hecho de que la metrología es más una confluencia de varios campos científicos y tecnológicos que una disciplina monolítica, esto implica que diferentes metrólogos compartan sólo una parte de su sistema de conceptos y definiciones (Metrología, 2019).

De acuerdo a lo anterior, el VIM puede ser implementado por científicos, ingenieros, profesores, profesionales y técnicos involucrados con la planeación, diseño y realización de mediciones independientemente del nivel de incertidumbre de las mediciones y de su campo de aplicación. También el VIM está destinado a ser un documento de referencia para

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	16 de 105

los organismos gubernamentales e intergubernamentales, asociaciones comerciales, organismos de acreditación, entidades reguladoras y asociaciones profesionales.

La finalidad del VIM es lograr el mayor entendimiento posible del paradigma metrológico, es decir para la comunicación clara e inequívoca de las realizaciones metrológicas universalmente reconocidas por la comunidad que se ocupa de los problemas de medición y sus soluciones. Dicha comunidad se compone de todas aquellas instancias de la sociedad que tengan relación con cualquier tipo de medición, ya sea estatales, de gobierno, privadas o que tengan relación con la infraestructura de la calidad, como laboratorios de calibración, de ensayo, organismos de normalización, de acreditación, de certificación, de inspección, organismos de regulación, los sectores productivos como la industria, la salud, la academia, la seguridad, etc. (Metrología, 2019).

Plan de Aseguramiento Metrológico


Teniendo claros los conceptos anteriormente descritos, se procede a avanzar en el desarrollo de este trabajo. Haciendo énfasis en que inicialmente, no se puede decir que únicamente se limita a reportar informes acerca de intervenciones metrológicas en industrias, sino que se contempla la realización de estos mencionados servicios, involucrándose en cada una de estas clases o distinciones de la metrología.

Es aquí entonces, donde cobra su importancia el conocer la normativa encargada de la regulación y del funcionamiento de cada industria en específico. Por lo cual es importante acogerse a dicha normativa teniendo en cuenta que el principal objetivo es ofrecer de manera sistematizada el cronograma de actividades metrológicas a seguir en una institución para garantizar la confiabilidad (en los dispositivos medidores), como también el buen estado de todos los activos en planta, que estén involucrados en cualquier proceso yendo desde los más críticos hasta los más simples.

El plan de aseguramiento metrológico debe estar debidamente dimensionado para optimizar los recursos disponibles y dar la cobertura requerida a los equipos que estén operando en planta. El mencionado plan, generalmente se presenta como una cronología de actividades sucesivas a realizar y aspectos a tener en cuenta, las mencionadas actividades y aspectos generalmente son los siguientes:

- I. Identificación de equipos.
- II. Clasificación general de equipos.
- III. Criticidad del equipo e intervenciones metrológicas a aplicar.
- IV. Rango de uso específico.
- V. Periodicidad de las intervenciones metrológicas.

Cada acción descrita anteriormente, será desarrollada con detalle a continuación.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	17 de 105


I. Identificación de Equipos

La identificación de los equipos y dispositivos a los cuales está destinada la aplicación del PAME, debe realizarse teniendo en cuenta las características generales y específicas del equipo. Dichas características cobran su importancia debido a que, al conocer esta información, se preparas así una serie de actividades de calibración y mantenimiento (según el dispositivo lo necesite) exclusivas para el equipo en cuestión. Los aspectos o características a tener en cuenta a la hora de realizar la identificación de los equipos en planta son las siguientes:

- Información del equipo.
- Información del proveedor.
- Características Metrológicas.
- Condiciones de instalación y puesta en marcha.
- Actividad técnica.

De acuerdo a lo anterior La información tanto de equipo o proveedor que se pueda tener es importante debido a que en las fichas técnicas que puedan existir del equipo se encuentra información fiel acerca de las características del equipo, como las que se enunciaron con anterioridad. De no encontrarse gran información de los dispositivos, es importante recurrir al encargado u operario del mismo con el fin de obtener la información respectiva de la instalación y puesta en marcha, así como también las condiciones a las que normalmente opera en planta. La información anterior se tiene en cuenta a la hora de decidir la actividad metrológica o técnica a realizar en el equipo. Posterior a eso, se realiza un reconocimiento de piezas y componentes del equipo que sean más susceptibles a daños con el fin de diagnosticar fallas o irregularidades. Se hace también importante el testimonio humano, de cualquier persona que permanezca a cargo del equipo ya que, por el hecho de conocer al equipo, se pude obtener información de rangos de medición, ciclos de trabajo y descanso, modo de operación, condiciones ambientales óptimas de trabajo, entre otros aspectos a tener en cuenta para el funcionamiento del equipo a intervenir. De acuerdo a la anterior información, y a lo anteriormente comentado, se procede entonces a realizar una clasificación general de los activos a intervenir basándose en la información obtenida de fuentes como fichas técnicas, información de proveedor, información de condiciones de funcionamiento, entre otras.

Esta distinción que se procede a realizar permite aún más clasificar las intervenciones metrológicas que se realizarán a los equipos en planta.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	18 de 105

II. Clasificación General de Equipos

La clasificación de los equipos se hace con el fin de tener una base clara de los tipos de operaciones de calibración y mantenimiento que estos puedan requerir. Esta clasificación puede ser realizada agrupando dispositivos de acuerdo a sus características en común, las cuales pueden ser las siguientes:


- Equipos usados en área de laboratorio.
- Equipos usados en área industrial.
- Equipos digitales.
- Equipos analógicos.

Es importante conocer que a su vez pueden existir subdivisiones de las clasificaciones hechas anteriormente. También es posible agrupar los equipos según la variable metrológica a la que pertenecen como también la magnitud que estos miden. La tabla 1 permite visualizar una clasificación por modo y/o lugar de trabajo de los equipos a intervenir.

Tabla 1. Clasificación de dispositivos por modo y/o lugar de operación.

Grupo de Dispositivos	Dispositivos Asociados
pH-Conductividad-Cloro libre-Oxígeno disuelto	Conductivímetros, pH-metros, Clorímetros, Colorímetros, Espectrofotómetros, Medidores de Oxígeno disuelto.
Termodinámicos-Calor	Hornos, Marmitas, Muflas, Incubadoras, Baños serológicos, Balanzas de humedad.
Termodinámicos-Frío	Refrigeradores, Cuartos fríos, Ultracongeladores.
Esterilización	Autoclaves, Hornos de esterilización.
Cabinas	Cabinas de flujo laminar, Cabinas de extracción, Cabinas de seguridad biológica.
Volumétricos	Micropipetas, Dosificadoras, Dispensadoras.
Centrífugas	Centrífugas comunes, Microcentrífugas.
Equipos de Medición de Masa	Balanzas, Balanzas analíticas, Básculas.


Cabe destacar que, para la realización de este trabajo, se va a implementar una clasificación de equipos sujetándose inicialmente a la variable metrológica

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	19 de 105

pertenecente, y posteriormente se clasificarán según la magnitud que miden. Dicha clasificación se puede apreciar a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Clasificación de dispositivos medidores de acuerdo a la magnitud y/o variable que miden.

Magnitud	Variable	Dispositivos	Modelo
Electroquímica	pH	pHmetros	Ohaus Starter 300, Hanna HI 98103.
	Conductividad	Conductivímetros	Ohaus Starter 3100C
	ORP	Refractómetros	HI 96801
	Alcalinidad	Titulador	TritroLine Easy Schott
	Turbidez	Turbidímetro	HI 83414
Óptica - Ultrasonido	Absorbancia	Luminómetros, Espectrofotómetros, Fotómetros, Colorímetros, Refractómetros.	Hygiena SystemSURE, EnSURE
	Transmitancia		
	Color		Hanna HI-701 Hanna HI 96801
	Ultrasonido	Equipos de análisis de leche	Boecolac, Lactoscan, Milkotronic.
Termodinámica	Temperatura	Termómetros, Termómetros Infrarrojos, Termopares, Termocuplas, (Autoclaves, Termómetros de punzón, etc.)	Brixco L101 Deltatrak 11050 Autoclave ALLAMERICAN Horno Memmert Balanza de humedad Sartorius
	Humedad Relativa	Termohigrómetros	Brixco L101 Deltatrak 13307
	Punto de Rocío		
	Punto de crioscopía	Crioscopios	Funke Gerber CryoStar 1
Volumen	Volumetría – Gravimetría	Micropipetas, Buretas, Dosificadores, Dispensadores	Brand Transferpette 1 Thermofischer Finnipette
Masa	Masa	Balanzas, Balanzas analíticas, Básculas	Trúmax Mix-A Trúmax Alaxka Ohaus Adventurer
Presión	Presión	Manómetros, Bombas de vacío, Vacuómetro.	DEWIT MiltonRoy

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	20 de 105


III. Criticidad del equipo e intervenciones metrológicas a aplicar

Según lo ya descrito, se procede a analizar la criticidad del conjunto de equipos a intervenir. Dicha criticidad se evalúa teniendo en cuenta aspectos que pueden incidir sobre la confiabilidad de las mediciones (con respecto a los dispositivos medidores) de los activos como periodicidad de calibración, ambiente de operación, vida útil, ciclos de trabajo, entre otros.

Es importante el tener en cuenta que no todos los equipos a intervenir tienen el mismo intervalo de tiempo en el cual puedan garantizar medidas confiables, debido a esto se hace necesario que se establezcan como prioritarios todos los equipos cuyo intervalo de intervenciones metrológicas sea más corto, también con el fin de no desencadenar fallas en el funcionamiento, como puede ser el caso de electrodos de medidores de pH (PHmetros). A continuación, en la tabla 3 se puede observar un ejemplo del cronograma de operaciones metrológicas a realizar a un dispositivo medidor de pH perteneciente a la variable electroquímica:

Tabla 3. Ejemplo de lista de operaciones en una intervención de servicio técnico.

Variable	Magnitud	Mantenimiento		Calibración	Verificación	Procedimiento a Realizar
		Preventivo	Correctivo			
Electroquímica	pH	X		X		<ul style="list-style-type: none"> • Inicialmente se identifica el rango donde el equipo es empleado para realizar mayor número de mediciones. • Se realiza mantenimiento según la necesidad del dispositivo. • Se realiza por último de ajuste de medida y calibración para asegurar la homogeneidad y estabilidad de las medidas realizadas.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	21 de 105

IV. Rango de uso específico

El rango de uso específico, puede referirse al intervalo de mediciones en el cual se implementa el activo de medición. También, se puede entender como el intervalo de tiempo dentro del cual un equipo puede desempeñar sus actividades sin necesidad de calibración o mantenimiento.


El conocer el rango de uso o trabajo específico significa que:

- **Para el caso de equipos medidores,** se pueda realizar el ajuste de medida y calibración pertinente teniendo en cuenta que el mayor volumen de medidas se realiza en un intervalo definido y que por ende se debe garantizar la confiabilidad de las mencionadas medidas.
- **Para el caso de equipos no medidores,** se realice el correspondiente mantenimiento (preventivo o correctivo) garantizando el correcto funcionamiento del equipo por el período de tiempo establecido de fábrica o bien sea el establecido por los operarios en planta.

V. Periodicidad de las intervenciones metrológicas

El intervalo entre intervenciones metrológicas realizadas a los activos es variable entre los dispositivos intervenidos, por razones ya mencionadas como su principio de funcionamiento o medida, ambiente de trabajo, volumen de trabajo, etc.

Cabe destacar que esta periodicidad debe respetarse rigurosamente a fin de garantizar funcionamiento y medidas confiables, como también el cumplimiento de las normas encargadas de la regulación del estado de estos equipos en planta. También es importante conocer que la criticidad del proceso donde se encuentre el equipo a intervenir influye directamente en la periodicidad de las intervenciones metrológicas realizadas a este.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	22 de 105

CAPÍTULO II: NORMATIVA DE METROLOGÍA Y REGULACIÓN DE INDUSTRIAS, CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS Y FICHAS TÉCNICAS DE DESEMPEÑO.

En el segundo capítulo de este trabajo escrito se tratarán los tópicos correspondientes a la regulación de industrias y toda la normativa que los correspondientes entes de regulación implementan para desempeñar a cabalidad esta función.

También, se tratará más a fondo la forma de clasificar los dispositivos a intervenir de acuerdo a la magnitud que pertenecen y a la variable que miden. Se estudiarán las correspondientes fichas técnicas de estos con el fin de conocer a profundidad el desempeño y aspectos fundamentales de funcionamiento para estos equipos.

Organismos Reguladores, Normalizadores y Estandarizadores


Entre los entes que se encargan de regular, normalizar y estandarizar el funcionamiento de puntuales líneas de las industrias actualmente no solo en el ámbito nacional sino también en el internacional se encuentran ISO e IEC como los principales entes regulatorios en el ámbito internacional; centrándose en el ámbito nacional son conocidas las Normas Técnicas Colombianas o NTC de las cuales se encarga ICONTEC. También son reconocidos el INVIMA, el Ministerio de Salud Nacional, entre otros organismos que se encargan de vigilar el cumplimiento de las normas preestablecidas por estos en industrias alimentarias, farmacéuticas, clínicas, entre otras.

De acuerdo a lo anterior, a continuación, se muestran los entes mayormente reconocidos que regulan aspectos como la metrología, calidad y gestión en laboratorios de ensayo y calibración nacional e internacionalmente, estos son:

- Organización Internacional de Normalización (ISO)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC)
- Oficina de Internacional de Pesas y Medidas (BIPM)
- Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)
- Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC)

Organización Internacional de Normalización

Como organización internacional de normalización y estandarización, ISO se encarga de crear documentos que proveen de requerimientos, especificaciones, instructivos o características que pueden ser usadas consistentemente para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios sean adecuados para sus propósitos. Trayendo beneficios reales y medibles para una gran cantidad de sectores, estos estándares respaldan la tecnología implementada asegurando la calidad que se espera (ISOTools, 2019).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	23 de 105

Para la realización de este trabajo escrito, se citan y tienen en cuenta varias de las normativas desarrolladas por ISO, estas son las siguientes:

- ISO 10012: Sistemas de gestión para la medición. Requisitos para los procesos de medición y equipos de medición.
- ISO 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

Las anteriores normativas se tienen en cuenta, debido a que se hace estrictamente necesario para un laboratorio de calibración y ensayo como también para su personal encargado, el desarrollar sus actividades bajo la cobertura de normativas que respalden la calidad de dichas actividades no solo en el ámbito nacional sino también en el internacional.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC)


Según el decreto 2269 de 1993, ICONTEC es el organismo nacional de normalización. Es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo. Actualmente ICONTEC se encarga de prestar servicios de:

- Normalización (en Colombia).
- Educación
- Evaluación de la conformidad de las siguientes formas:
 1. Certificación de producto
 2. Certificación de sistemas de gestión
 3. Inspección
 4. Validación y verificación
 5. Acreditación en salud

Al ser organismo nacional de normalización, ICONTEC es miembro activo de los más importantes organismos internacionales y regionales de normalización, de acuerdo a esto también participar en la definición y desarrollo de normas internacionales para mantener actualizada y vigente la información y tecnología (ICONTEC, 2020).

Oficina Internacional de Pesos y Medidas

El BIPM por sus siglas en francés (*Bureau International des Poids et Mesures*) es una organización internacional establecida en la convención Metre, a través de la cual estados miembros actúan juntos en asuntos relacionados con la ciencia de la medición y los estándares implementados en estos procesos. La visión del BIPM es ser universalmente reconocida como el foco mundial para el sistema internacional de medición (SI). Esta visión

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	24 de 105

se cumplirá a través del trabajo realizado con los INM de los estados miembros, como también los socios estratégicos en todo el mundo y utilizar su estatus internacional e imparcial para promover y avanzar la comparabilidad global de las mediciones con el fin de:

- Favorecer el descubrimiento científico y la innovación
- Promover las industrias y el comercio internacional

Obteniendo como resultado la mejora en la calidad de vida y manteniendo el medio ambiente global.

Los objetivos del BIPM son representar a la comunidad mundial de medición, con la finalidad de maximizar su impacto e inserción, a través del contacto con organizaciones intergubernamentales y otros organismos internacionales para desarrollar oportunidades para la aplicación de la metrología a los desafíos globales (*BIPM - Worldwide Metrology, 2020*).


Organización Internacional de Metrología Legal

La OIML por sus siglas en francés (*Organisation Internationale de Metrologie Légale*) es una organización intergubernamental que se encarga de desarrollar regulación de modelos, estándares y documentos relacionados para uso exclusivo de metrología legal en la industria. También provee sistemas de reconocimientos mutuo lo cual reduce las barreras de comercio y costos en el mercado global. Es importante también porque representa los intereses de la comunidad de metrología legal a través de organizaciones internacionales y foros dirigidos a la metrología, estandarización, prueba, certificación y acreditación promoviendo y facilitando el intercambio de conocimiento y competencias entre la comunidad mundial de metrología legal. Es importante mencionar que también coopera con otros entes de metrología para elevar la conciencia de la importancia de la contribución al crecimiento de la infraestructura de la metrología legal con el fin de hacer una economía moderna (Légale, 2020).

Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC)

Es la organización internacional para organismos de acreditación que operan con ISO/IEC 17011 y participan den la acreditación de organismos de evaluación de la conformidad, incluidos laboratorios de calibración, laboratorios de prueba (que utilizan ISO/IEC 17025), laboratorios de pruebas médicas (que usan ISO 15189), como también organismos de inspección (que usan ISO/IEC 17020) y proveedores de pruebas de competencia que usan ISO/IEC 17043.

ILAC define la acreditación como la evaluación independiente de los organismos de evaluación de la conformidad con estándares reconocidos para llevar a cabo actividades

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	25 de 105

específicas para garantizar su imparcialidad y competencia. Mediante la aplicación de estándares nacionales e internacionales, el gobierno, los compradores y los consumidores pueden confiar en la calibración y los resultados de las pruebas, los informes de inspección y las certificaciones proporcionadas (por tener un ejemplo).

Los organismos de acreditación se establecen en muchas economías con el objetivo principal de garantizar que los organismos de evaluación de la conformidad estén sujetos a la supervisión de un organismo autorizado. Los organismos de acreditación, que han sido evaluados por pares como competentes, firman acuerdos regionales e internacionales para demostrar su competencia. Estos organismos de acreditación evalúan y acreditan los organismos de evaluación de la conformidad con las normas pertinentes (« *About ILAC International Laboratory Accreditation Cooperation, 2020*).

Normativa a tener en cuenta


Es necesario e importante, el tener en cuenta la respectiva normatividad y regulación de la que se ha venido hablando, no solo con el fin de cumplirla sino también con la meta de respaldar firmemente toda intervención que se realice tanto metrológica como de mantenimiento y/o reparación garantizando calidad en la prestación de estos servicios.

Por consiguiente, se procede a estudiar las normativas citadas encargadas de regular inicialmente la capacidad y competencia que debe tener todo laboratorio de ensayo y calibraciones, como también los requisitos que estos deben cumplir a la hora de realizar intervenciones a equipos de medición.

Norma ISO 17025

La norma ISO 17025 establecida por la organización internacional de estandarización (*International Organization of Standardization*), se aplica a todas las organizaciones que realizan test y/o calibraciones. Incluyendo, por ejemplo, laboratorios de primero, segundo y tercer grado, como también laboratorios donde las pruebas y/o calibraciones forman parte de la inspección y certificación de productos. También es aplicable a todos los laboratorios independientemente del personal o los alcances de las actividades de prueba y calibración. Además de lo anterior, esta norma también se implementa en laboratorios para el desarrollo y manejo de su sistema de gestión de calidad, como también en operaciones técnicas y administrativas. Los clientes, entes regulatorios y cuerpos de acreditación pueden usar esta norma para confirmar o reconocer la competencia de laboratorios de metrología (*ISO - ISO/IEC 17025:2005 - General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, n.d.*).

El objetivo principal de esta normativa es el de garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos. La norma contiene tanto requisitos de Gestión como

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	26 de 105

también requisitos Técnicos que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios. Favoreciendo la creación de un conocimiento colectivo, que facilita la integración del personal, y un profundo conocimiento interno de la organización, proporcionando además flexibilidad en la adaptación a necesidades y cambios de entorno. Estos requisitos proporcionan flexibilidad en la adaptación a cambios en el entorno y permite detectar problemas para su resolución anticipada. Finalmente, la acreditación del laboratorio será el reconocimiento formal de la competencia y capacidad técnica para llevar a cabo análisis específicos (SA, 2019).

NTC-ISO/IEC 17025

La norma NTC-ISO/IEC 17025 es la adaptación correspondiente de la norma internacional ISO-IEC 17025 en el país y se encarga de establecer los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos y/o de calibraciones, incluido el muestro. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio. Esta norma es para que la utilicen los laboratorios cuando desarrollan los sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas. También puede ser utilizada por los clientes del laboratorio, las autoridades reglamentarias y los organismos de acreditación cuando confirman o reconocen la competencia de los laboratorios. Esta norma internacional no está destinada a ser utilizada como la base para la certificación de los laboratorios.


Esta norma, tiene como referencia documentos indispensables para la realización del documento final, estos documentos referentes son:

- **ISO/IEC 17000**, Evaluación de conformidad – Vocabulario y principios generales.
- **VIM**, Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología, publicado por **BIPM, IEC, IFCC, ISO UIPAC y OIML**.

De acuerdo a la anterior normativa expuesta, se procede entonces a realizar la clasificación de dispositivos y equipos a intervenir, teniendo en cuenta aspectos como dependencia y lugar de operaciones en planta y magnitud metrológica a la que pertenecen según la variable que miden (principio de funcionamiento).

Clasificación de Dispositivos en Planta

La clasificación que se ha establecido para identificar desde este punto en adelante de una manera más fácil y estructuradamente las familias de dispositivos medidores se basa en la magnitud a la que pertenece y la variable que estos miden. De acuerdo a esta distinción (descrita con anterioridad) se pueden establecer cronogramas de intervenciones metrológicas de manera más organizada y cubriendo mayoritariamente las familias de dispositivos mencionadas.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	27 de 105

De acuerdo a lo anterior también es importante mencionar que para la intervención de estos equipos es sabido que se hace necesario conocer aspectos fundamentales que los equipos pertenecientes a los grupos mencionados con anterioridad poseen en su estructura, principio de funcionamiento, medición, y demás características no solo para llevar a cabo estas intervenciones sino también para hacer una distinción entre los procesos metrológicos o de mantenimiento a realizar.

De estos aspectos y características se componen las pasantías y capacitaciones impartidas para dotar de los conocimientos y habilidades necesarias anteriormente descritos que cada operario debe tener. Estas pasantías cobran su importancia también en la trazabilidad e información condensada en informes generada posterior a la realización de la intervención metrológica ya que permite soportar no solo la capacidad del operario sino también la respaldar la capacidad y la calidad en la realización de las intervenciones mencionadas.


De acuerdo a la clasificación especificada anteriormente, se definen a continuación las magnitudes y variables metrológicas a las que se sujeta la clasificación de los equipos anteriormente descrita.

En la tabla 4 mostrada a continuación se puede apreciar la clasificación de las variables según la magnitud a la que pertenecen, como también la pasantía que capacita al personal encargado para intervenir los equipos correspondientes.

Tabla 4. Clasificación de pasantías de variables metrológicas y su correspondiente magnitud.

		MAGNITUD			
PASANTÍA	ELECTROQUÍMICA	TERMODINÁMICA	ÓPTICA	MASA	VOLUMEN
VARIABLE	PH	TEMPERATURA	ABSORBANCIA	MASA	VOLUMEN
	CONDUCTIVIDAD	HUMEDAD RELATIVA	COLOR		
	CLORO LIBRE	PUNTO DE CRIOSCOPIA	TRANSMITANCIA	MASA	GRAVIMETRÍA
	CLORO TOTAL	PUNTO DE ROCÍO	ULTRASONIDO		
	ALCALINIDAD		TURBIDEZ		

Es importante aclarar que el contenido de las pasantías que se pueden apreciar en la tabla anterior, abarca aspectos como leyes físicas, reacciones químicas (principio de detección de concentración de ATP en luminometría) variable metrológica, principio de funcionamiento de los dispositivos asociados a las variables, como también estructura básica de ciertos

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	28 de 105

equipos especializados como pueden ser los espectrofotómetros y fotómetros por tener algunos ejemplos importantes.

De acuerdo a lo anterior, se procede a estudiar con detalle el contenido de cada una de las pasantías mencionadas.

Pasantía en Metrología Básica


A través de esta pasantía, se refrescan ciertos conceptos referentes a los procesos de medida y cálculos de incertidumbre, además de establecer el concepto de metrología legal, la cual se encarga de regular los patrones que se utilizan en transacciones comerciales, salud, seguridad pública y medio ambiente. Se encarga también de garantizar resultados de medición confiables a los entes implicados en todo proceso de medición vigilando que estos se encuentren dentro de los márgenes de error permitidos por la regulación actual. También se tienen en cuenta temas referentes al aseguramiento metrológico y su enfoque dirigido a gestión en los procesos donde se implemente. Es aquí donde se tiene un primer acercamiento con las magnitudes y variables metrológicas que posteriormente se tratarán, pero en este caso a modo de introducción. Además de lo anterior se establecen también metodologías de buenas prácticas y procesos de medición los cuales, en orden de garantizar la eficaz realización de los procesos descritos, deben seguirse con especial detalle.

Pasantía en Espectrofotometría y Óptica

Inicialmente, se establece la definición conocida de óptica. Se conoce que la óptica es la rama de la física que estudia el comportamiento y las propiedades de la luz, incluidas las interacciones que tiene con la materia. Teniendo en cuenta lo anterior y adentrándose un poco más en las técnicas implementadas para la realización de experimentos y mediciones, se tiene el concepto de espectrofotometría, la cual se define como el método científico usado para medir cuanta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra.

Esta se basa en la ley de Lambert-Beer, la cual es un método matemático que se utiliza para expresar la manera en que la materia absorbe la luz. En óptica, esta ley afirma que la totalidad de la luz que emana de una muestra puede disminuir debido a tres fenómenos de la física, los cuales se describen a continuación:

1. El número de materiales de absorción en su trayectoria, lo cual se denomina concentración.
2. Las distancias que la luz debe atravesar a través de las muestras. Este fenómeno se denomina distancia del trayecto óptico.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	29 de 105

3. Las probabilidades que hay de que el fotón de esa amplitud particular de onda pueda absorberse por el material. Esto denominado absorbancia o también coeficiente de extinción.

La relación anterior puede ser expresada como se muestra a continuación en la ecuación 1:

$$A = -\epsilon cd \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

A, es absorbancia.

ϵ , es el coeficiente molar de extinción.

d, es el recorrido de la luz en centímetros.

c, es la concentración molar.

A medida que la luz atraviesa un medio que la absorbe, la cantidad de luz absorbida en cualquier volumen corresponde a la intensidad de la luz que incide, luego se multiplica por el coeficiente de la absorción. Frecuentemente la intensidad de un haz de luz incidente declina significativamente a medida que pasa a través del medio absorbente (Herrera, 2010).


La espectrofotometría es una técnica empleada en muchas disciplinas como ingeniería, química y biología. Se utiliza para cuantificar las propiedades de reflectancia y transmitancia de un material en términos de longitudes de onda de luz a los que está expuesto el material. Al existir muchos tipos de luz teniendo en cuenta el espectro de luz, existen también a su vez diferentes tipos de espectrofotómetros con funciones específicas que brindan diferentes usos y modos de análisis. Dentro de los diferentes tipos de espectrofotometría, existen dos métodos principales que se utilizan:

- Espectrofotometría de Absorción
- Espectrofotometría de Rango Visible y Ultravioleta

Estos dos tipos de espectrofotometría se definen con más detalle a continuación.

- **Espectrofotometría de Absorción**

Este tipo de espectrofotometría, es a menudo utilizada en el análisis químico, como en el análisis de proteína donde se prueba la luz visible ultravioleta contra una solución acuosa para encontrar la concentración de la proteína por tener un ejemplo. Funciona porque las proteínas absorben luz a longitudes de onda específicas y con el uso de

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	30 de 105

fórmulas específicas, se puede calcular la cantidad de luz que es absorbida al detectar la cantidad de luz que es reflejada en la solución (Minolta, 2020).

Esto permite determinar la cantidad de proteína. En la cuantificación de proteína, un espectrofotómetro de absorción produce luz y luego la reduce a una simple longitud de onda utilizando un componente llamado monocromador. La luz monocromática se ajusta a una longitud de onda que no es absorbida por el contenedor en el que está la muestra porque esto impactará negativamente la habilidad del espectrofotómetro para medir la reflectancia (Minolta, 2020).

- **Espectrofotometría de Rango Visible y Ultravioleta**


La espectrofotometría de rango visible y ultravioleta se relaciona con el espectro de luz visible y es usada ampliamente en las industrias de recubrimientos y pinturas, entre muchas otras. Estas industrias, que dependen mucho en los datos precisos y específicos de color, utilizan espectrofotómetros y colorímetros para producir variaciones y sombras de color junto con amplios rangos de colores.

Debido a que hay muchos factores que pueden influenciar las propiedades de reflectancia y transmisión de un pigmento, se utilizan rutinariamente los datos de color para cuantificar e igualar los colores de materiales para crear pinturas y recubrimientos. En forma similar, los espectrofotómetros UV/VIS ayudan a muchos fabricantes como parte rutinaria en sus prácticas de control de calidad ya que estos dispositivos pueden cuantificar la desviación de un color esperado, y pueden contribuir también en el diagnóstico de equipos y procesos de fabricación.

Sin importar la aplicación, la cuantificación precisa del espectro es una parte importante de las evaluaciones científicas. Existen muchos métodos para medir y analizar las distintas regiones del espectro, y cada método tiene su propio conjunto de mejores prácticas y procedimientos, y son fundamentales para cualquier experimento científico para asegurar que todos los métodos de control y documentación sean seguidos para que los resultados puedan ser repetidos por otros científicos. Los espectrofotómetros son herramientas fundamentales utilizadas en muchos laboratorios desde centros educacionales hasta organizaciones gubernamentales, entre muchos otros (Minolta, 2020).

- **Estructura Básica de un Espectrofotómetro**

Inicialmente, se debe partir de la definición de espectrofotómetro. Estos dispositivos se implementan en la física óptica para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones. También es utilizado en los laboratorios de química para la cuantificación de sustancias

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	31 de 105

y microorganismos. Existen varios tipos de espectrofotómetros, pueden ser de absorción atómica o de masa (Minolta, 2020).

Estos dispositivos tienen la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz absorbida por dicha muestra. Esto anterior permite al operador realizar dos funciones:

1. Obtener información sobre la naturaleza de la sustancia en la muestra.
2. Indicar indirectamente qué cantidad de la sustancia de interés está presente en la muestra.

Básicamente, estos instrumentos permiten detectar la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. La estructura básica de un espectrofotómetro convencional puede apreciarse en la figura 1 a continuación, como también el recorrido que realiza la luz a través de este.

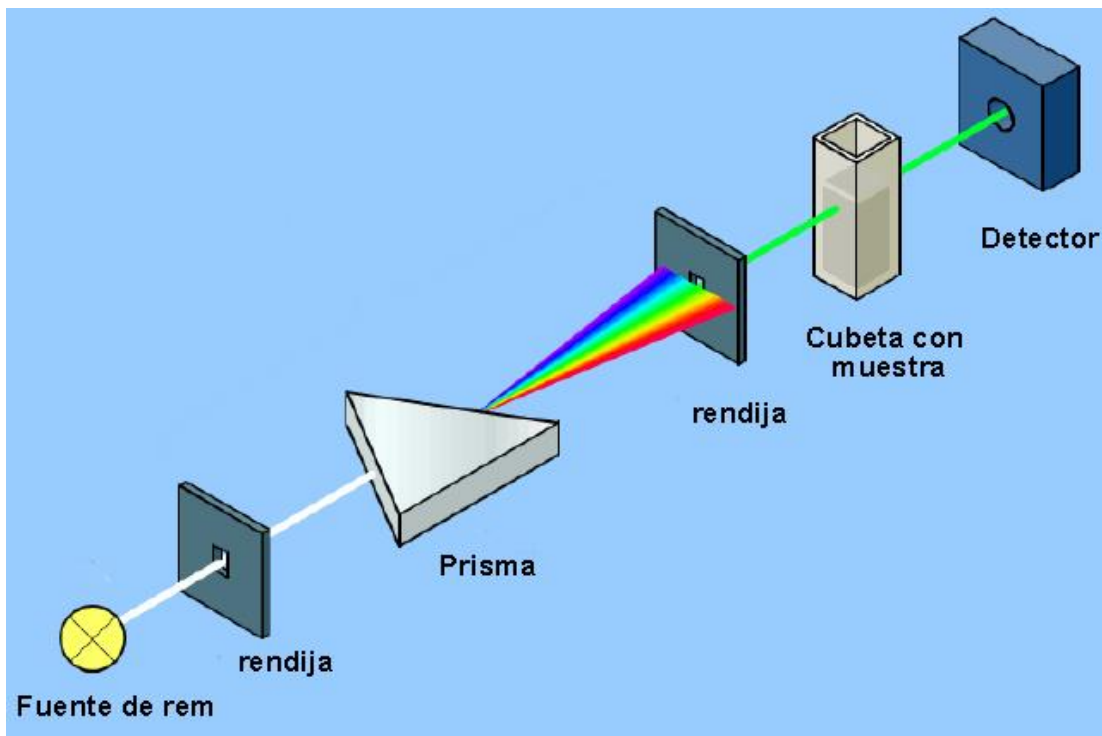



Figura 1. Estructura básica de un espectrofotómetro. (Callejas, 2017).

Estos dispositivos constan de una fuente de luz (bombilla) que produce luz blanca. La primera rendija selecciona un rayo que contiene todas las frecuencias emitidas. Este rayo pasa a través de un prisma de vidrio que descompone la luz blanca en sus diferentes frecuencias (del rojo al violeta). Una segunda rendija selecciona una de las frecuencias (luz monocromática) que incidirá sobre la cubeta que contiene la muestra. Al conjunto del

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	32 de 105

prisma y segunda rendija se le denomina monocromador. El rayo monocromático que atraviesa la muestra incide sobre el detector, que transfiere los datos a un sistema informático donde se genera el espectro. Si la frecuencia seleccionada en la segunda rendija no es absorbida por la muestra se produce un punto de líneas a base del espectro. Cuando la frecuencia de la radiación es adecuada para producir transición (vibracional, electrónica...) se observa un pico de absorción en el espectro (Fernández, 2018).

De acuerdo a lo anterior, se listan los componentes de un espectrofotómetro, como también se detalla más la información referente a estos.

- **Fuente de Luz**

La fuente de luz que ilumina la muestra debe cumplir con las siguientes condiciones: estabilidad, direccionalidad, distribución de energía espectral continua y larga vida. Las fuentes empleadas pueden ser: lámparas de arco de xenón, lámparas de wolframio (tungsteno) y lámparas de deuterio empleada en laboratorios atómicos (Técnicos, 2019).

- **Monocromador**

Este componente aísla las radiaciones de longitud de onda deseada que inciden o se reflejan desde el conjunto. Se usa para obtener luz monocromática. Se constituye por las rendijas de entrada y salida, colimadores y el elemento de dispersión. El colimador se ubica entre la rendija de entrada y salida. Es un lente que lleva el haz de luz que entra con una determinada longitud de onda hacia un prisma el cual separa las longitudes de onda de ese haz y la longitud deseada se dirige hacia otra lente que direcciona ese haz hacia la rendija de salida (Técnicos, 2019).


- **Compartimiento de Muestra**

Es donde tiene lugar la interacción, R.E.M con la materia (debe producirse donde no hay absorción ni dispersión de las longitudes de onda). Es importante destacar que durante este proceso se aplica la ley de Lambert-Beer en su máxima expresión, en base a sus leyes de absorción, en lo que concierne al paso de la molécula fundamental de excitación (Técnicos, 2019).

- **Detector**

Es el encargado de detectar la radiación y a su vez la deja en evidencia para posterior estudio. Existen dos tipos (Técnicos, 2019):

- a) Los que realizan detección por respuesta ante fotones.
- b) Los que realizan detección por respuesta térmica.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	33 de 105

- **Registrador**

Convierte el fenómeno físico, en números proporcionales al analito en cuestión (Técnicos, 2019).

- **Fotodetectores**

En los instrumentos modernos, se encuentra una serie de 16 fotodetectores para percibir la señal en forma simultánea en 16 longitudes de onda, cubriendo el espectro visible. Esto reduce el tiempo de medida, y minimiza las partes móviles del equipo (Técnicos, 2019).

- **Tipos de Espectrofotómetros**

Como ya se ha descrito, lo básico en la estructura de un espectrofotómetro es una fuente de luz, monocromador, compartimiento de muestra, detector, registrador y fotodetectores. Ahora bien, desde el punto de vista de la construcción es deseable que el sistema esté limitado por el detector, o sea que el factor limitante debe ser el ruido generado por el detector. Cualquier cosa que se realice con vistas a aumentar los niveles de señal en el detector, es deseable. En términos de su construcción se puede reconocer la diferencia entre las rutas de la radiación en los casos de haz simple o doble, y si el módulo del fotómetro está diseñado para una lectura directa o utiliza un circuito de balance. En la selección final del instrumento se deben considerar los conceptos de costo inicial, costo de mantenimiento, flexibilidad de operación, características de resolución, intervalo de longitudes de onda, precisión y equipo auxiliar necesario para desarrollar otras áreas de aplicación. Teniendo en cuenta lo anterior, se tienen básicamente tres tipos de espectrofotómetro (González, 2012):

- i) **Espectrofotómetro de Absorción Atómica**

Este tipo de espectrofotómetro se basa en la medida de la absorbancia de una radiación electromagnética a una longitud de onda característica del elemento a medir. Es necesario para poder realizar la medida, que el elemento se encuentre en su forma atómica. Para ello se realiza una excitación con una llama de acetileno/aire o acetileno/óxido nitroso. Estos dispositivos se implementan en la cuantificación de la concentración de metales alcalinos, alcalinotérreos y de transición, como también de otros elementos de disolución acuosa. A continuación, se puede apreciar en la figura 2 una ilustración de este tipo de dispositivos (Equipos de laboratorio, 2012).


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	34 de 105



Figura 2. Espectrofotómetro de absorción atómica (Equipos de laboratorio, 2012).

ii) Espectrofotómetro UV-Visible

Este dispositivo permite la determinación cuantitativa de compuestos absorbentes de radiación electromagnética en solución, para longitudes de onda comprendidas entre 200 y 1100 nm. Es adecuado para la caracterización y análisis de aguas y efluentes papeleros (DQO, color, hierro, sulfatos, lignina disuelta, etc.) así como la identificación y determinación de aditivos no celulósicos en el papel, almidón, resinas, etc. La figura 3 ilustra un espectrofotómetro encargado de analizar esta región del espectro electromagnético (Equipos de laboratorio, 2012).



Figura 3. Espectrofotómetro UV-visible. (Equipos de laboratorio, 2012).

iii) Espectrofotómetro Infrarrojo

Este equipo permite la identificación de grupos funcionales de materiales orgánicos, pinturas y determinadas estructuras de muestras sólidas y líquidas por transmisión espectroscópica de infrarrojo por la transformada de Fourier, en el rango espectral comprendido por 400 y 4000 cm^{-1} (centímetros recíprocos). A continuación, la figura 4 puede ilustrar este tipo de instrumentos ópticos (Equipos de laboratorio, 2012).



Figura 4. Espectrofotómetro infrarrojo.
(Equipos de laboratorio, 2012).

De acuerdo a lo anterior, se desprende una nutrida variedad de equipos que comparten el mismo principio de funcionamiento, pero se implementan para medir variables diferentes. Cabe destacar que estos equipos son especialmente diseñados para la medición de una o varias variables en específico, pero también pueden ser implementados en la realización de otras mediciones obteniendo resultados aceptables dependiendo del escenario donde se realice la medición como también la criticidad de la variable a medir.


Los equipos mayormente utilizados en mediciones de variables de óptica y que comparten el mencionado principio de funcionamiento se listan a continuación.

- iv) Luminómetros
- v) Colorímetros
- vi) Refractómetros
- vii) Espectrofotómetros

Como se menciona anteriormente, estos equipos listados comparten el principio de funcionamiento de un espectrofotómetro se especializan en mediciones de variables distintas. El funcionamiento de estos, se puede apreciar con mayor detalle a continuación:

Luminómetro de ATP

Es importante establecer que el funcionamiento básico de un luminómetro es la detección de la concentración o presencia de ATP (adenosín trifosfato) en una superficie determinada mediante bioluminiscencia. La presencia de ATP en una superficie es indicador de una limpieza incorrecta o de algún tipo de contaminación. El ATP puede provenir de residuos de alimentos, de suciedad existente, de los propios microorganismos, etc. Una superficie deficientemente higienizada es un lugar potencial para el desarrollo de una contaminación y probable punto de partida de una infección. Eliminando el ATP se eliminará la fuente de alimento para las bacterias evitando así su

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	36 de 105

crecimiento y posterior reproducción. Lo anteriormente descrito, puede simplificarse de la siguiente manera:

Alta contaminación= Alta cantidad de ATP= Más luz producida en relación con hisopo recolector= Mayor número de URLs en el luminómetro.

Para operar estos equipos, inicialmente se debe tomar muestras de la superficie a analizar por medio hisopos humedecidos con una solución que permite extraer el ATP de las células, como también localizarlas. Con el hisopo se recoge el ATP de las células microbianas además del ATP libre que se encuentra en los residuos de los alimentos. El reactivo que está dentro del bulbo del dispositivo está formado por una enzima que se encuentra en las luciérnagas llamada luciferasa. Cuando esta enzima entra en contacto con el ATP reacciona y emite luz, esta emisión de luz es cuantificada por el luminómetro. La cantidad de luz emitida es directamente proporcional a la cantidad de ATP, dando así una medida cuantitativa de la pulcritud de la superficie (ADOX, 2010).


Como se describió anteriormente, se sabe que el luminómetro muestrea los valores en URLs (Unidades Relativas de Luz). La luz producida por la reacción entre las moléculas de ATP y la luciferasa es emitida en forma de fotones. El dispositivo detecta estos fotones, los cuantifica y los muestrea como valores en URLs. La relación entre ATP y URLs es de 1 a 1. Cuanto mayor es la presencia de ATP sobre una superficie significa que se generará mayor cantidad de luz en la reacción por lo que los resultados que se visualizarán en el luminómetro serán mayores (ADOX, 2010).

Las áreas que están en contacto con los probables contaminantes deben ser los puntos principales de un programa de limpieza y desinfección. Las áreas que están en contacto directo con elementos de uso habitual son superficies donde la presencia de cualquier contaminante puede generar infecciones. Las áreas de contacto indirecto son las que de alguna forma son salpicadas en el proceso. El área de muestreo debe tener una dimensión de 10x10 cms., y en áreas de difícil acceso tanta superficie como sea posible (ADOX, 2010).

- **Procedimiento para la toma de muestras para análisis de luminometría**

El procedimiento para la toma de datos para realizar el análisis de luminometría se muestra a continuación:

1. Se procede inicialmente a frotar el extremo del hisopo con la superficie a analizar.
2. Se activa el hisopo rompiendo la cápsula contenedora de la enzima anteriormente descrita.
3. Se introduce el hisopo en el luminómetro.
4. Se visualizan los resultados de la medición.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	37 de 105

A continuación, en la figura 5 puede apreciarse de manera gráfica el procedimiento de toma de muestra y posterior análisis de luminometría.

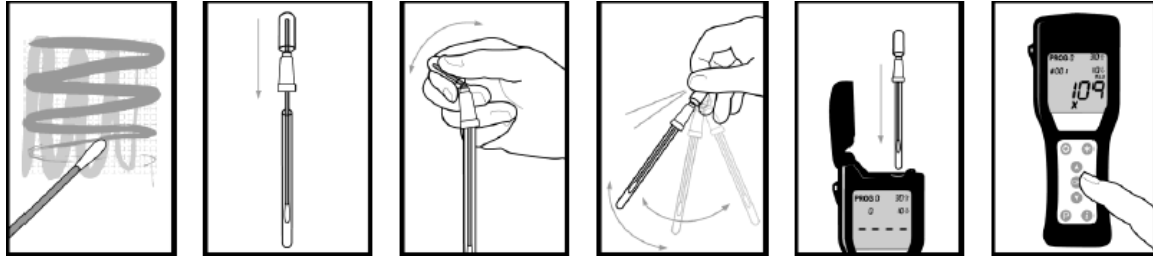



Figura 5. Procedimiento de muestreo de superficies con hisopo (Higiene, 2020).

Posterior a la toma de muestras y recolección de resultados se procede a realizar el respectivo análisis estos. Dicho análisis se desarrolla muy comúnmente por medio de software especializado.

Colorímetros (detectores de cloro libre y/o cloro total)

Inicialmente se define que un colorímetro es un dispositivo implementado en los procesos de medición y análisis de colores. Actualmente se conocen colorímetros elaborados y calibrados para procesos críticamente específicos. Especialmente, se implementan para calcular y analizar la concentración de un componente químico. De igual manera existen también colorímetros que analizan el color de productos como plásticos, metales, cerámicas, entre otros (M. de Laboratorio, 2020).

Es conocido, que el cloro es considerado el desinfectante más utilizado a nivel mundial, por ende, la cuantificación de dosis a aplicar de este es también de carácter crucial para realizar desinfección. Teniendo en cuenta lo anterior es conveniente aclarar que la dosificación de cloro puede llevarse a cabo implementando dos compuestos, los cuales son Cl_2 (cloro elemental), HOCl (ácido hipocloroso) y OCl^- (hipoclorito). Es importante conocer que la cuantificación del cloro libre o total presente en el ambiente a desinfectar (mayormente líquido) se mide en partes por millón (ppm). Teniendo en cuenta que estos realizan medición de moléculas de cloro por el principio de absorbancia de la luz con respecto a una determinada sustancia (en este caso el cloro disuelto). Para realizar la operación anteriormente descrita, este instrumento implementa una frecuencia de luz específica determinada por lo que se hace posible entonces descubrir la concentración de un determinado soluto conocido por la proporción también determinada de su absorción de luz. En este trabajo escrito, se estudia específicamente la medición de cloro libre y/o total disuelto en un medio líquido. De acuerdo a lo anterior, se procede a mostrar a continuación la operación de un dispositivo medidor de color simple a través de la figura 6.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	38 de 105

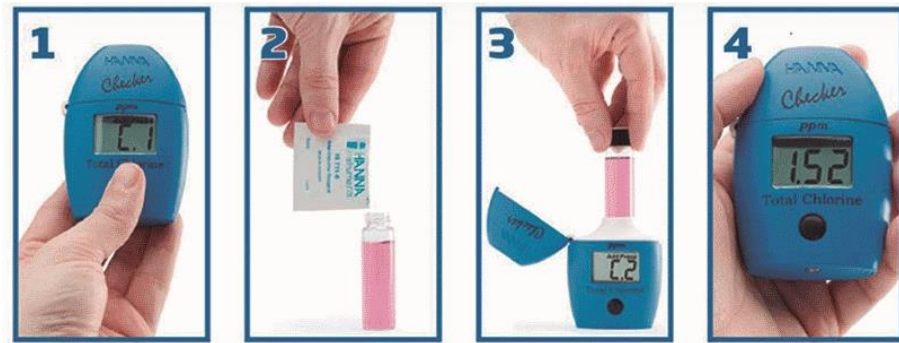


Figura 6. Procedimiento de análisis de muestras para detección de cloro libre (HANNA Instruments, 2014).

Tomando como referencia el medidor de cloro libre Hanna HI701, se tiene el siguiente protocolo de operaciones:

1. Poner a cero el tester con una muestra de agua destilada.
2. Añadir el reactivo correspondiente a la muestra de agua.
3. Introducir la cubeta en el tester.
4. Por último, realizar la correspondiente lectura de resultados para posterior análisis.


Refractómetros

Es un instrumento óptico preciso. Y como su nombre indica, basa su funcionamiento en el estudio de la refracción de la luz. El refractómetro es implementado para medir el índice de refracción de líquidos y sólidos traslúcidos permitiendo realizar los siguientes análisis (Químico, 2020):

- Identificar una sustancia
- Verificar su grado de pureza
- Analizar el porcentaje de soluto disuelto en una determinada solución
- Ofrecer otros análisis cualitativos

Su funcionamiento se basa en utilizar la refracción de la luz, la cual es una propiedad física de cualquier sustancia y se relaciona con algunas propiedades físicas como la densidad. A partir de ello, y de acuerdo a su aplicación se constituyen en diferentes escalas. La más usada es la que permite determinar los grados brix (proporción de sacarosa o sales en una solución) (Químico, 2020).

La configuración del dispositivo incluye el llamado prisma de iluminación. Este permite que la luz se introduzca en la muestra. Su función es dispersar la luz para que la fuente lumínica que ilumina la muestra venga de distintas direcciones. La luz que viaja perpendicular a la superficie no se refractará, pero continuará una trayectoria recta.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	39 de 105

Los factores que influyen la refracción incluyen la temperatura y las propiedades físicas del medio a través del cual está viajando la luz. Algunos refractómetros incluyen un termómetro para tener en cuenta la temperatura. Como una fuente de luz ordinaria para un refractómetro podría causar un problema llamado “efecto arco iris”. Algunos equipos pueden compensar este efecto con una serie de prismas diseñados para dicho propósito (Químico, 2020).

Existen entonces equipos analógicos y digitales implementados para la medición de concentración de soluto en soluciones determinadas. A continuación, la tabla 5 ilustra un paralelo entre las características de estos dos dispositivos uno analógico y el otro digital.


Tabla 5. Características de los refractómetros analógicos y digitales.

Características de los Refractómetros	
Analógico	Digital
Ofrece un rango limitado de medición con respecto a su homólogo digital.	Ofrece un rango de medición más amplio comparado a un refractómetro análogo.
Al tener una escala de poca resolución no ofrece precisión para aplicaciones críticas.	Ofrece mayor precisión en el análisis de concentración de solutos.
No permite almacenamiento de datos debido a no tener memoria.	Permite alojar una mayor cantidad de datos en su memoria.
El análisis de resultados debe hacerse implementando otras herramientas.	Elimina los errores de transcripción de datos al permitir envío de datos a computadores.
Este dispositivo es susceptible a errores de paralaje cometidos por el responsable de efectuar las mediciones.	Realiza mediciones más rápidas y estables.
Las compensaciones de temperatura deben realizarse a un valor determinado para obtener medidas fiables.	Permite realizar compensaciones de temperatura automáticas.
El ajuste de medida se realiza de manera manual (en la mayoría de equipos) mediante ajuste de un tornillo designado para este fin.	Permite realizar ajustes de medida más precisos al realizarse de manera sistematizada.

Pasantía en Termodinámica

Continuando con las pasantías que respaldan la capacidad de intervenir metrológicamente estos dispositivos, se procede a continuar con la correspondiente a variables termodinámicas.

Inicialmente se parte de la definición de temperatura termodinámica. Se conoce que la temperatura es la variable macroscópica que caracteriza el estado térmico de un

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	40 de 105

sistema (fuerza de escape del calor), a veces también llamado nivel de energía térmica o grado de calentamiento/enfriamiento.

Instrumentación Implementada en la Medición de Variables Termodinámicas


Los instrumentos implementados para realizar mediciones de variables termodinámicas se detallarán a continuación.

Termómetros

Los termómetros son pequeños sistemas termodinámicos calibrados que se ponen en contacto térmico con el sistema de interés hasta que alcanzan el equilibrio térmico, registrándose el estado alcanzado por el pequeño sistema calibrado. El termómetro ha de ser pequeño para que el proceso de equilibrado apenas modifique el estado del sistema de interés y dure poco tiempo, y ha de ser sensible (que se aprecien bien los cambios) además de preciso (reproductible). El calibrado puede ser una graduación cualquiera que sirva de registro, pues siempre se podrá pasar de esa escala arbitraria a la temperatura termodinámica con algún procedimiento como los descritos a continuación. Por supuesto que en la práctica los termómetros vienen graduados con una escala que aproxime bien la temperatura verdadera (p. e. se calibra en el punto de hielo y en el de vapor y se divide el intervalo en 100 partes iguales) y sólo en circunstancias excepcionales se recurre a traducir estas temperaturas empíricas a temperaturas verdaderas (Martinez, 1992).

Teniendo en cuenta que se acaba de decir que un termómetro se puede calibrar con el punto de hielo (0 °C) y el punto de vapor (100 °C), la incertidumbre en el equilibrio líquido-vapor es tan grande que nunca se usan estos estados para calibración. Los patrones usados son los puntos de solidificación de las siguientes sustancias puras (obtenidas por refinado por zona flotante) y que garantizan $\pm 0,1$ K hasta la antraquinona y luego $\pm 0,5$ K para el resto:

- Galio 302,91 K
- P-Nitrotolueno 324,6 K
- Naftaleno 353,4 K
- Indio 429,75 K
- Estaño 505,1 K
- Antraquinona 557,8 K
- Perclorato potásico 572,6 K
- Cinc 692,68 K
- Sulfato de Plata 697,2 K
- Aluminio 933,47 K

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	41 de 105

Termómetros de dilatación


Pueden ser de dilatación de gas, de líquido o de sólido (en general, los líquidos dilatan más que los sólidos).

- **De gas**, La temperatura de un gas a baja presión es proporcional a pV , aunque solo se utilizan los de $V=cte$. Como gas se usa el N_2 , el H_2 o el He , según el intervalo de temperatura. Se trata por tanto de medidores de presión. Son voluminosos, y su tiempo de respuesta es elevado (Martinez, 1992).
- **De líquido**, Pueden ser de expansión libre como el de mercurio, de compresión isocora o de presión de vapor. El más conocido es el termómetro de mercurio, que une a su respuesta casi lineal su pequeña inercia térmica (aunque también influye la del vidrio) y su amplio intervalo utilizable (desde $-39^\circ C$ a $357^\circ C$ con $\pm 0,01^\circ C$, aunque presurizado con nitrógeno puede alcanzarse $550^\circ C$); su inconveniente principal es que no da una salida eléctrica. El de metanol también se usa mucho; dilata seis veces más que el mercurio y se utiliza entre $-100^\circ C$ y $80^\circ C$ con $\pm 0,1^\circ C$ de resolución (para más bajas temperaturas se usa el propano). Estos equipos son de respuesta rápida y ofrecen un rango considerable de mediciones (Martinez, 1992).
- **De sólido**, Se aprovecha la diferencia de dilatación de dos láminas metálicas diferentes soldadas (bimetal). Si ambos metales tienen módulo de elasticidad similar y el mismo espesor e , la deformación ocasiona una curvatura $l/R=(3/2)\Delta\alpha\Delta T/e$, siendo $\Delta\alpha$ la diferencia de coeficientes de dilatación lineal y ΔT el incremento de temperatura respecto a la de soldadura. Uno de los metales suele ser invar (64% Fe, 36% Ni), que apenas dilata (Martinez, 1992).

Estos dispositivos descritos anteriormente, son especialmente conocidos porque fueron los iniciadores y precursores de los métodos de medición de temperatura convencional que se conoce actualmente. También es importante decir que su uso ha disminuido considerablemente debido a que son netamente analógicos y ofrecen intervalos de medición considerablemente pequeños con respecto a sus contrapartes digitales.

Termorresistencias

Estos equipos nacen al arrollar un hilo conductor sobre un soporte aislante (varilla o placa). Al hacer circular una corriente de intensidad constante (para que no influya el efecto Joule), las variaciones de temperatura ocasionan variaciones de resistividad y por tanto variaciones de voltaje entre sus bornes. Si se utiliza una alimentación a voltaje constante, se dispone la termorresistencia en un brazo del puente de Wheatstone, y para compensar la resistencia del hilo de prueba, se prolonga el brazo adyacente también hasta el sensor, por lo que de este salen también tres o cuatro hilos. Si se utiliza una alimentación a intensidad constante, también salen cuatro hilos del sensor a los

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	42 de 105

cuales llegará la corriente por dos de estos y los dos restantes irán al voltímetro (Martinez, 1992).

La ventaja de la implementación de estos equipos es que su respuesta es muy lineal y que el intervalo de temperaturas de utilización es considerablemente grande. El más conocido es el de platino, para el cual el intervalo de mediciones puede ir desde -250°C a 950°C con una incertidumbre mínima de $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$, aunque los dispositivos normales (anteriormente descritos) solo dan $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

A estos sensores se les conoce como RTDs (*Resistance Temperature Detector*) y la mayoría de los sistemas de adquisición de datos ya están preparados para aceptar directamente la pequeña señal de los RTD estándar. Estos sensores son activos, es decir que necesitan una alimentación externa para funcionar y van encapsulados en vidrio (para baja temperatura) o en sílice fundida (para alta temperatura). Existen varios tipos de los sensores descritos con anterioridad, los cuales se pueden apreciar a continuación.

Termopares

Estos sensores se valen de dos hilos conductores para realizar mediciones de temperatura, al excitar dichos hilos conductores aparece una diferencia de potencial la cual es posteriormente tomada como señal a amplificar y convertir para dar como resultado un dato de temperatura. Estos termómetros son los más utilizados en la práctica, ya que pese a su baja sensibilidad (10^{-5}V/K). Cabe destacar la no linealidad y la necesidad de establecer temperaturas de referencia para efectuar mediciones. Existen aspectos en estos sensores como la no homogeneidad en los hilos y los tratamientos impuestos para su fabricación como trefilado, evaporación, oxidación, et hace que se requiera una calibración periódica (mensual, bimestral, etc.). A continuación, la tabla 6 permite observar características como rango, precisión y material de construcción de varios tipos de termopares (Martinez, 1992).

Tabla 6. Tipos de termopares.

Tipo	Hilos (+/-)	Rango	Precisión
T	Cu/ constatan	-200°C a 300°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
J	Fe/ constatan	0°C a 750°C	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$
K	Cromel / constatan	-200°C a 900°C	$\pm 1,7^{\circ}\text{C}$
E	Cromel / alumel	-200°C a 1200°C	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$
R	PtRh(13%) / Pt	0°C a 1500°C	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
S	PtRh(10%) / Pt	0°C a 1500°C	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
B	PtRh(30%)/PtRh(6%)	870°C a 1700°C	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
N	Microsil / nilsil	0°C a 1250°C	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$

(Martinez, 1992).



Nota: constatan=CuNi (55/45), crómel=NiCr (90/10), alúmel=NiMnAlSi (95/2/2/1), nicrosil=NiCrSi (84,5/14/1,5), nisol=NiSi (95,5/4,5).

A continuación, puede apreciarse en la figura 7 de manera detallada la respuesta de señal eléctrica que con respecto al rango de temperaturas que posee cada tipo de sensor.

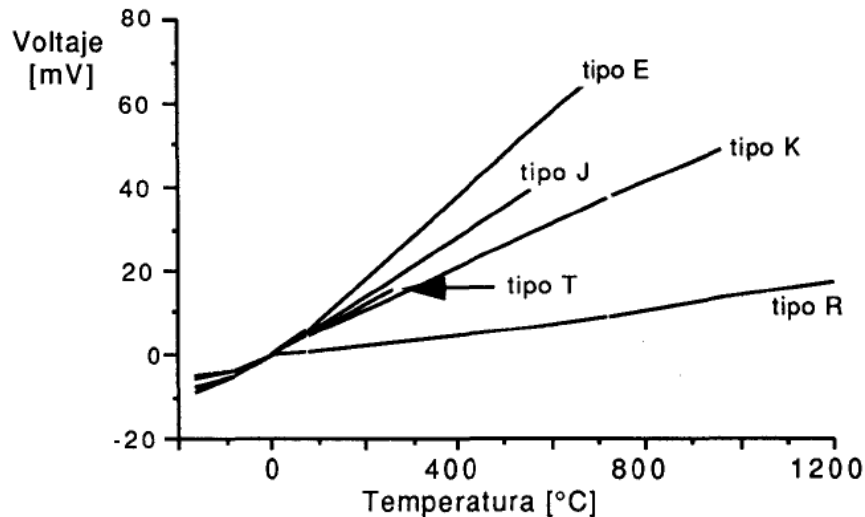


Figura 7. Señales de respuesta de varios tipos de termopares (Martinez, 1992).


Termohigrómetros

Es un instrumento multiparámetro que mide temperatura y humedad relativa. Estos dispositivos pueden llegar a ser tan pequeños para ser portátiles o de mano soliendo utilizar baterías para su alimentación de energía.

Actualmente, existen muchos tipos de termohigrómetros en el mercado ya que cada uno cuenta con varias posibles aplicaciones prácticas. El funcionamiento en cada uno de ellos es similar, pero cambia principalmente en función del uso para el que está diseñado y sus prestaciones.

Se puede distinguir entre termohigrómetros analógicos y digitales. Los analógicos normalmente disponen de una aguja que indica la lectura de temperatura o humedad en una escala definida e inalterable. Estos equipos analógicos como todos los que se han podido citar a lo largo de este libro, ofrecen una muy baja resolución de lectura y además de esto son muy limitados en sus funciones.

Del otro lado, los termohigrómetros digitales ofrecen mayor número de ventajas como por ejemplo una precisión y resolución muchos más amplias que los análogos, también son más fiables, pueden medir en rangos de temperatura más amplios y se pueden usar

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	44 de 105

en muchas más aplicaciones. La mayor ventaja que los termohigrómetros digitales presentan es que pueden conectarse a sondas con características especiales y de varios tipos además de poder registrar y memorizar datos obtenidos.

Pasantía en Volumetría y Gravimetría

Varios métodos analíticos se basan en la medición de masa. En la gravimetría de precipitación, el analito (sustancia o compuesto de interés analítico de una muestra) es separado de una disolución de la muestra como un precipitado y es convertido a un compuesto de composición conocida que puede pesarse. En la gravimetría de volatilización, el analito es convertido en un gas de composición química conocida para separarlo de los otros componentes de la muestra. La masa del gas sirve como medida de la concentración del analito. En la electrogravimetría, el analito es separado al depositarse en un electrodo por medio de una corriente eléctrica. Entonces, la masa de este producto proporciona una medida de la concentración del analito. En la valoración gravimétrica, la masa requerida de un reactivo de concentración conocida para reaccionar completamente con el analito proporciona información necesaria para determinar la concentración del mismo (Skoog et al., 2015).


Básicamente, los métodos gravimétricos son métodos cuantitativos basados en la determinación de la masa de un compuesto puro con el cual está químicamente relacionado el analito.

También es correcto afirmar que los métodos de análisis gravimétricos están basados en mediciones de masas con una balanza analítica, la cual es un instrumento que produce datos muy exactos y precisos. Los resultados de un análisis gravimétrico se calculan por lo general a partir de dos mediciones experimentales: la masa de la muestra y la masa de un producto de composición conocida.

De acuerdo a lo anterior, trasladando lo mencionado al escenario de metrología cabe destacar lo estrechamente relacionada que está esta técnica con la forma de proceder al momento de calibrar dispositivos de volumen (dosificadores, pipetas, micropipetas). El mencionado procedimiento de calibración puede observarse con detalle en el próximo capítulo de este trabajo escrito.

Pasantía en Medida de Masa y Equipos de Pesaje

Por medio de esta pasantía, se establecen las definiciones generales correspondientes a este tipo de dispositivo. Se define inicialmente el principio de funcionamiento de estos dispositivos, el cual basa el proceso de cuantificación de masa valiéndose de la acción que ejerce la gravedad sobre el cuerpo cuya masa es de interés, esto según la norma correspondiente a este tipo de dispositivos (NTC 2031) (ICONTEC, 2014).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	45 de 105

Es de relevancia para esta pasantía el establecer características metrológicas propias del instrumento de pesaje, tales como la capacidad máxima o mínima que puede medir este dispositivo, el rango u intervalo de medición, divisiones de escala, escalas de verificación, entre otros.

Además de lo anterior, a través de esta pasantía se llegan a conocer también los componentes principales que poseen estos dispositivos, con el fin de ofrecer al operario u analista un mayor dominio y conocimiento al momento de realizar las pertinentes intervenciones metrológicas. Los componentes básicos de un instrumento de pesaje no automático definidos según la norma se listan a continuación haciendo también una breve descripción de estos.

Receptor de carga

Es el componente del instrumento de pesaje destinado a recibir la carga (ICONTEC, 2014).

Dispositivo transmisor de carga

Es la parte del instrumento que se encarga de transmitir al componente encargado de medir la carga, la fuerza producida por la carga que actúa sobre el receptor de esta (ICONTEC, 2014).

Dispositivo de medición de carga

Parte del instrumento que sirve para medir la masa de la carga mediante un dispositivo equilibrador de la fuerza que proviene del dispositivo transmisor de carga (ICONTEC, 2014).

Módulo

Es el componente identificable de un instrumento que realiza una función o funciones específicas, y que se puede evaluar por separado de acuerdo con los requisitos metrológicos y técnicos específicos para el desempeño de la norma relevante. Es importante destacar que los módulos de un instrumento de pesaje están sujetos a límites de errores (ICONTEC, 2014).

Celda de carga


Es el transductor de fuerza que, que después de tomar en cuenta los efectos de la gravedad y el empuje del aire en el lugar de su uso, mide la masa convirtiendo la magnitud de medida (masa) en otra magnitud medida (salida) (ICONTEC, 2014).

Indicador

Es el componente electrónico destinado a realizar la conversión analógica a digital de la señal de salida de una celda de carga, y que procesa aún más los datos y permite visualizar los resultados de pesaje en las unidades de masa de interés (ICONTEC, 2014).

Terminal

Es el dispositivo digital que posee una o varias teclas destinadas a la operación del instrumento (tara, cambio de unidades, punto cero, modo de medición, etc.), además de una pantalla para proporcionar los resultados de pesaje transmitidos mediante la interfase digital de un módulo de pesaje o procesamiento de datos (ICONTEC, 2014).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	46 de 105

Dispositivo de nivelación

Es el componente que permite llevar un instrumento a su posición de referencia (totalmente horizontal) (ICONTEC, 2014).

Los dispositivos o componentes anteriormente descritos se pueden apreciar a continuación en el esquema ilustrado por la figura 8.

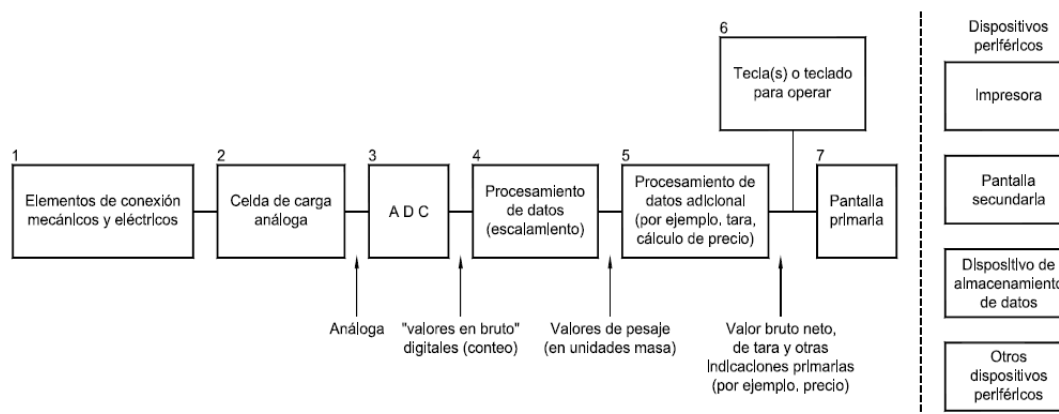


Figura 8. Componentes básicos de un instrumento de pesaje.


Pasantía en Electroquímica

Inicialmente, es importante mencionar que los métodos electroquímicos involucran múltiples parámetros que deben ser medidos, ya sea de manera cualitativa o cuantitativa. Es necesario tener en cuenta lo anterior, debido a que como se menciona con anterioridad estos múltiples parámetros pueden ser distintos en cuanto a la manera en que se miden, pero existe una característica que permite englobarlos a todos en la magnitud electroquímica, y esta es que la medición de estos se basa en reacciones químicas de oxidación/reducción. Es pertinente recordar que en una reacción de oxidación/reducción, los electrones son transferidos de un reactante a otro. Un ejemplo es la oxidación de los iones de hierro(II) por parte de los iones cerio(IV) (Skoog et al., 2015).

A continuación, se muestran las variables que se engloban en el concepto de electroquímica.

Medición de pH

La utilidad del pH como una medida de acidez o alcalinidad de medios acuosos, la amplia disponibilidad comercial de electrodos de vidrio y la proliferación de medidores de pH han hecho de las medidas potenciométricas una de las técnicas analíticas más usuales en toda la ciencia, por esta razón es vital que las mediciones de pH se determinen de una forma fácilmente reproducible en diversos momentos

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	47 de 105

y por varios laboratorios en todo el mundo. De acuerdo a lo anterior es importante definir el pH en términos operacionales, es decir, por la manera en que se lleva a cabo la medición. La medición de pH realizada por un pH metro (mayormente conocido) o potenciómetro se realiza a su vez, por medio del método potenciométrico de análisis y se basa en las mediciones del potencial de celdas electroquímicas en ausencia de corrientes apreciables. Estos procedimientos son ampliamente utilizados en procesos de titulación, más específicamente en su punto final. Se hace necesario conocer el principio de funcionamiento de los distintos medidores de pH, específicamente las sondas o electrodos que estos utilizan.

Para introducir el concepto de electrodo, es válido implementar el siguiente diagrama ilustrado en la figura 9, ya que generalmente las sondas de los medidores de pH o potenciómetros tienen básicamente esta estructura.

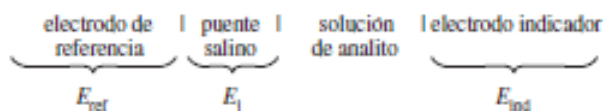


Figura 9. Estructura básica de un electrodo de pH
(Skoog et al., 2008)

En el anterior diagrama se puede apreciar el *electrodo de referencia*, el cual es una celda pequeña con un potencial de electrodo conocido con exactitud, la cual es independiente de la concentración del analito o de otros iones que se encuentren inmersos en la solución a analizar. Posteriormente, el *electrodo indicador* está sumergido en una solución de analito y que produce un potencial que depende de la actividad del mismo analito. El tercer componente de una celda en potencimetría es un puente salino que evita que los componentes de la solución del analito se mezclen con los del electrodo de referencia.

El cloruro de potasio (KCl) es por mucho el puente salino implementado en la mayoría de los electrodos o sondas de los pHmetros o potenciómetros debido a las movilidades del ion positivo de potasio (K^+) y del ion (Cl^-). Entonces, de acuerdo a lo anterior la diferencia de potencial neta en el puente salino se reduce a unos pocos milivoltios o menos.

El potencial total de la celda que se está estudiando se obtiene aplicando la ecuación 2:

$$E_{cel} = (E_{ind} - E_{ref}) + E_j \quad \text{Ecuación 2}$$

El primer término en la anterior ecuación contiene el dato que se quiere encontrar, entonces para determinar el pH de un analito es necesario medir un potencial de celda, corregir este potencial respecto a los potenciales de referencia y de unión



además de calcular la concentración del analito a partir del potencial del electrodo indicador.

A continuación, se exponen los tipos de sondas implementadas en la medición de pH.

- **Electrodo de Vidrio**

Es el más implementado a nivel mundial. Estas celdas se componen básicamente de un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia de cloruro de plata o de calomel saturado, los dos electrodos están sumergidos en una solución cuyo pH se desea determinar. El electrodo indicador consiste en una membrana delgada de vidrio sensible al pH sellada en el extremo de un tubo de vidrio de paredes gruesas. El tubo contiene un pequeño volumen de ácido clorhídrico diluido saturado con cloruro de plata (en algunos electrodos la solución interna es un tampón o amortiguador que contiene ion cloruro). Al interior de esta solución un alambre de plata forma un electrodo de referencia plata-cloruro de plata, que se conecta a una de las terminales del dispositivo para medir el potencial, el electrodo restante (de referencia) se conecta a la otra terminal (Skoog et al., 2015). La figura 10 permite visualizar una representación esquemática de la composición de una celda de vidrio.

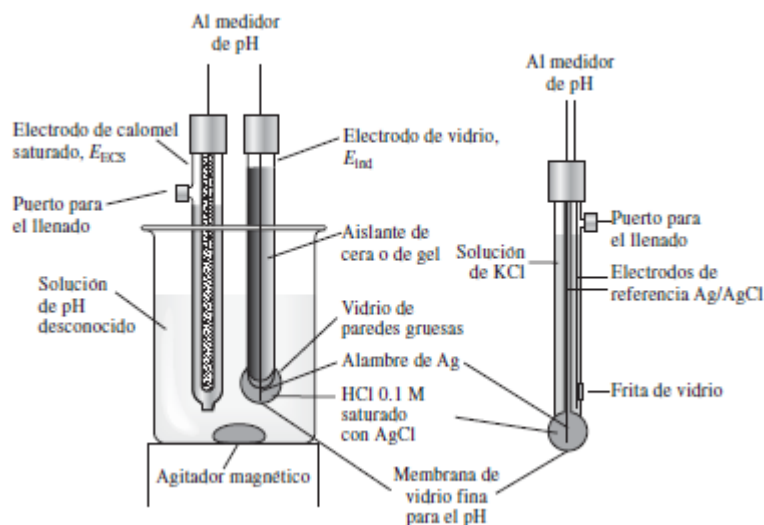



Figura 10. Estructura de un electrodo de vidrio (Skoog et al., 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior es clave afirmar que el electrodo de vidrio posee características que su homólogo de plástico no posee, estas son las siguientes:

- Puede usarse en la medición de pH de sustancias polares.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	49 de 105

- Están diseñados para generar contacto directo con el analito.
- Resisten temperaturas de medición relativamente altas (con respecto a sus homólogos) y sustancias altamente corrosivos o solventes.

Aplicaciones de los ISFET para medición de pH

Los transistores ISFET son variantes de los ampliamente conocidos MOSFET, pero se originan por la búsqueda de suprimir la susceptibilidad de estos últimos a las impurezas iónicas en su superficie. El transistor ISFET (Transistor de Efecto de Campo Selectivo de Iones) es muy similar estructural y funcionalmente hablando a un MOSFET, pero se diferencia en que la variación de concentración de iones de interés proporciona el voltaje de compuerta variable para controlar la conductividad del canal. En la siguiente figura se puede apreciar que en lugar del contacto metálico conocido de los MOSFET, la compuerta de un ISFET está cubierta con una capa aislante de nitruro de silicio (Si_3N_4).

También puede apreciarse en la figura 11, que la solución analito que contiene iones hidrógeno está en contacto con la anteriormente descrita capa aislante y con un electrodo de referencia. Entonces cualquier cambio en la concentración del ion hidrógeno en la solución causa un cambio en la concentración de los protones absorbidos por el nitruro de silicio, por consiguiente, el cambio de concentración de los protones adsorbidos da origen a un cambio de potencial electroquímico entre la compuerta y la fuente, lo que a su vez varía la conductividad del canal del ISFET (Skoog et al., 2015).

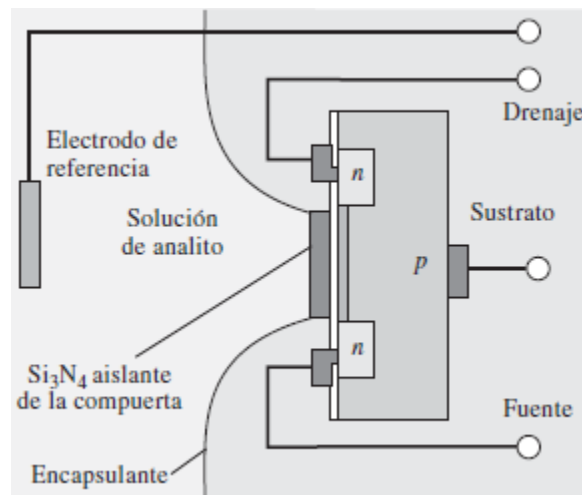



Figura 11. ISFET para medir pH. (Skoog et al., 2008).

La superficie sensible a iones de un ISFET responde naturalmente a las variaciones en el pH. Estos dispositivos poseen amplias ventajas sobre los electrodos de membrana, como las siguientes:

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	50 de 105

- Construcción resistente.
- Son inertes en ambientes agresivos.
- Tienen respuesta rápida a baja impedancia eléctrica.
- No requieren hidratación previa y pueden almacenarse por períodos indefinidos de tiempo en estado seco.

Medida de Conductividad

La medida de conductividad se basa en el principio de conductividad electrolítica, la cual es la medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y es a veces denominada “conductancia específica”. Conductividad electrolítica se define como la inversa o recíproca de resistencia eléctrica (óhmios) y utiliza las unidades de medida denominadas mhos, donde la millonésima parte de un mhos es igual a un microhmhos o microsiemens (como es conocido comercialmente, μS). Resistividad es inversa a la conductividad se define como la medida de una solución para resistir el flujo de una corriente eléctrica. La conductividad es una indicación de la cantidad de iones contenida en una solución. En agua ultra pura, por ejemplo, cantidades de iones como 0.05 S/cm afectan a la medición de conductividad ya que puede producir depósitos indeseables en partes cromada, causan problemas significativos en la fabricación de semiconductores y componentes de turbinas usadas en la industria de la energía (Company, 2020).

El dispositivo encargado de la medición de conductividad electrolítica es el conductímetro o conductómetro, y puede decirse que su composición es similar a la de un medidor de pH (pHmetro), específicamente hablando del electrodo con el cual realizan las mediciones esta vez de conductividad eléctrica en una determinada disolución.

Un sistema completo para realizar la medida de conductividad está formado por los siguientes elementos básicos:

- Célula de conductividad.
- Sonda de Temperatura.
- Instrumento de medida.

El conductímetro mide la conductividad eléctrica (como ya se había comentado) de los iones en una disolución. Para realizar esta medición, se aplica un campo eléctrico entre dos electrodos y mide la resistencia eléctrica de una disolución. Este dispositivo tiene la facultad de evitar cambios bruscos en la medición de conductividad de una determinada sustancia o algún efecto de capa sobre los electrodos mediante la aplicación de una corriente alterna. En la figura 12 a continuación, se aprecia un esquema básico del proceso de medición que se realiza mediante un conductímetro, como también los componentes básicos necesarios para que este se lleve a cabo:

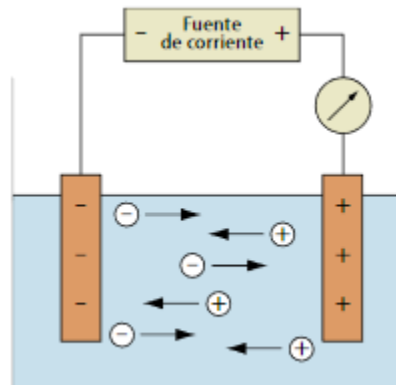


Figura 12. Medición de conductividad
(Instruments, 2012).

Es importante mencionar también que aparte de los S/cm, existen otras formas alternativas de expresar la conductividad de una disolución, estas son la Salinidad y los Sólidos Totales Disueltos (STD).


La salinidad se refiere a la concentración de una disolución teórica de NaCl con la misma conductividad que la muestra en estudio. Se expresa en ppm o g/l de NaCl. A su vez, la conductividad puede ser también utilizada como un indicador de la cantidad de materias disueltas en una disolución. Se expresa en ppm o g/l de $CaCO_3$ (Instruments, 2012).

Es importante conocer que en el mercado existen distintos tipos de células de conductividad, estas son:

- Con dos electrodos. Sistema clásico.
- Con cuatro electrodos. Se utiliza en medios sucios y con altas conductividades.
- Por inducción. Se utiliza en conductividades muy altas y medios altamente corrosivos.

La utilización de un tipo u otro de célula está directamente ligada al tipo de conductímetro que se posea. Otro dato importante que es necesario conocer es la constante de célula que depende directamente de la geometría de la misma y se expresa en cm^{-1} . No existe una célula que permita medir en toda la escala de conductividad con precisión suficiente, de acuerdo a esto se usan células de diferente constante y que permitan realizar medidas exactas a diferentes escalas. La célula de constante $C = cm^{-1}$, es la más usada comercialmente ya que ofrece un rango amplio de medición de conductividades bajas a conductividades relativamente altas.

La composición de una célula convencional se describe a continuación y se puede apreciar posteriormente en la figura 13:

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	52 de 105

- **Conector:** la mayoría de las células de conductividad de laboratorio son de cable fijo con conector de bananas. Cuando la célula incorpora el sensor de temperatura éste debe conectarse por separado. En los instrumentos portátiles el conector clásico ha sido sustituido por conectores múltiples que incluyen la conexión del sensor de temperatura.
- **Material del cuerpo:** Puede ser de vidrio o plástico, este último las proporciona mayor robustez.
- **Material de las placas de medida:** El material de los electrodos de medida puede ser variable también. Tradicionalmente se implementa el platino como material de las células. Normalmente el platino está cubierto electrolíticamente de ácido cloroplatínico, que le da un acabado rugoso llamado “negro de platino”. Esto anterior permite aumentar la superficie de medida y aumenta la respuesta de la célula.




Figura 13. Estructura de un electrodo para medición de conductividad electrolítica (Instruments, 2012).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS.

En esta parte de este trabajo escrito se expone con detalle la metodología implementada para realizar los procesos e intervenciones tanto metrológicas como también de mantenimiento y/o reparación a los equipos y dispositivos descritos en el capítulo anterior.

Esta metodología está soportada en dos partes fundamentales, que permiten diferenciar las intervenciones metrológicas de los mantenimientos y reparaciones. Es importante aclarar que, en el caso de operaciones de diagnóstico, mantenimiento preventivo o correctivo ocurre una particularidad, y es que el proceso de diagnóstico en la mayoría de las veces está implícito en estos dos últimos (mantenimiento preventivo o correctivo), pero

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	54 de 105

no siempre se realiza mantenimiento una vez que se diagnostica alguna anomalía o falla en un dispositivo. Es importante también resaltar el papel que juega cualquier información contenida en fichas técnicas, manuales y/o documentación relacionada con el dispositivo a intervenir. Información clave como por ejemplo voltaje de funcionamiento, capacidad máxima (equipos de pesaje), condiciones ambientales de operación, ciclos de trabajo, entre otras, es de vital importancia a la hora de diagnosticar incidencias y de ser posible repararlas.

Estas fichas técnicas también cobran su importancia en las intervenciones metrológicas, pues en la mayoría de los casos los equipos pueden ajustar su medida a un patrón deseado aplicando una serie de configuraciones en su programación, esto siempre y cuando el dispositivo lo permita. Ejemplos de fichas técnicas pueden observarse en los anexos de este trabajo escrito.


Teniendo en cuenta la aclaración anterior, se procede entonces a describir la metodología implementada para la realización de procesos de diagnóstico y/o posterior mantenimiento preventivo o correctivo.

Si bien es cierto, que puede existir una metodología base sobre la cual se rijan los procedimientos de diagnóstico sin distinción de equipos, es necesario tener en cuenta un conjunto de aspectos que son condicionados a su vez por los dispositivos a intervenir, lo cual lleva a pensar que de manera general el proceso de diagnóstico puede ser el mismo, pero con una serie de ligeros ajustes y condiciones que impone el dispositivo a intervenir.

Metodología de Diagnóstico

De acuerdo a lo anterior la manera generalizada de realizar diagnóstico a un equipo o dispositivo sin tener en cuenta las condiciones descritas con antelación podría ser el siguiente:

- Revisar y verificar el estado externo del dispositivo.
- Verificar el correcto proceso de encendido (si es el caso) del dispositivo.
- Verificar el funcionamiento de sus componentes externos, accesorios, periféricos, etc.
- Inspeccionar el debido estado de componentes como rodamientos, pernos, tornillos, tuercas, etc. Con el fin de descartar averías por falta de lubricación, vibraciones o agentes externos.
- Revisar los componentes internos del equipo, testear continuidad de pistas, cableado y bornes de conexión, revisar el estado de componentes electrónicos (si existen).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	55 de 105

- De igual forma inspeccionar el estado de componentes internos (sensores y actuadores) como celdas de carga, motores, electroválvulas, entre otros a fin de detectar y posteriormente corregir anomalías.
- Verificar el estado de cables de conexión de alimentación principal, distribución de potencia y energía, estado de PCBs, y componentes activos de circuitos con el fin de asegurarse del óptimo funcionamiento y estado de estos.

Como ya se menciona con anterioridad, el proceso general para el diagnóstico y posterior mantenimiento de un dispositivo es el anterior. En este momento es válido afirmar que surge la inquietud de por qué no puede ser generalizado de manera contundente este proceso.

La respuesta puede ser tan simple como obvia, y es que los dispositivos a intervenir, no poseen la misma composición estructural por el hecho de ser unos análogos y otros digitales, unos mecánicos y otros electrónicos, como también pueden existir dispositivos que no permiten acceso a su parte interna.


Es preciso realizar la distinción entre el proceso de diagnóstico, verificación, mantenimiento y/o reparación de equipos puntuales debido a que son los que en mayor volumen son intervenidos en el laboratorio. La mencionada distinción puede apreciarse con detalle en la tabla 7 a continuación.

Tabla 7. Metodología de actividades de diagnóstico a equipos medidores.

Equipo	Procedimiento a seguir	Intervención Realizada
Balanza Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar encendido y proceso de medición de masa. • Revisar el funcionamiento del teclado. • Inspeccionar el estado de los componentes internos. • Verificar el estado de la celda de carga, tarjeta de control y cableado. 	Diagnóstico
Crioscopio	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar encendido y proceso de enfriamiento. 	Diagnóstico



	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el funcionamiento del teclado.• Verificar el estado del termistor y la barra agitadora.• Verificar el estado de componentes internos como celda de enfriamiento, y sistema de bombeo de baño refrigerante.• Verificar el estado de la tarjeta principal de control.	
pHmetros	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el encendido del equipo y el estado de componentes externos.• Verificar el funcionamiento del teclado y pantalla del equipo.• Verificar el estado de la solución de puente salino del electrodo.• Verificar el proceso de medición de pH.	Diagnóstico
Termómetros de punzón	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el estado externo del equipo y su respectivo punzón.• Verificar el estado de los componentes internos (digitales).• Verificar el proceso de medición del equipo.	Diagnóstico

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	57 de 105

Análisis de Continuidad de Funcionamiento


Es importante mencionar que mayormente en la realización del proceso de diagnóstico, teniendo en cuenta el estado de los dispositivos en intervención surge una duda en la cual se contemplan varios posibles escenarios al momento de realizar este proceso que pueden presentarse como una solución a dicho interrogante.

El interrogante mencionado anteriormente es simplemente el siguiente ¿Vale la pena reparar el dispositivo? Cabe destacar que este interrogante viene directamente condicionado por el estado en que se encuentre el dispositivo, pero asumiendo el escenario donde el dispositivo en intervención se encuentre con una falla tal que su funcionamiento se vea impedido por esta, es cuando se tiene el mencionado interrogante.

Es importante también tener en cuenta que existen varios aspectos y factores a tener en cuenta a la hora de “responder” por llamarlo de alguna manera a este interrogante.

Los factores a tener en cuenta inicialmente pueden ser los siguientes:

- Costo de la reparación:** Es este por consiguiente el primer filtro a tener en cuenta a la hora de realizar un mantenimiento correctivo o reparación. Debido a esto entonces es importante conocer el costo del repuesto a reemplazar por tomar un ejemplo. Se sabe que, si el costo de dicho repuesto equipara o representa un porcentaje considerable del costo del activo en calidad de nuevo, no sería razonable hacer dicha reparación.
- Tiempo de Reparación:** Debido a la alta demanda actual de producción en masa que conocemos, se hace necesario que se espere que los activos que detienen su funcionamiento lo hagan por el menor tiempo posible. Esto quiere decir que en efecto si se aprueba la reparación del dispositivo teniendo en cuenta el costo, pero la duración de la intervención requiere una cantidad de tiempo considerablemente alta, no sería entonces recomendable realizar la reparación o mantenimiento correctivo según sea el caso.
- Versión del dispositivo:** Es importante tener en cuenta que tan nuevo o viejo es el activo a intervenir, esto debido a que es sabido que la gran mayoría de fabricantes están en continuo desarrollo y evolución de sus dispositivos, lo cual puede ser contraproducente para algunas empresas (esto debido a su demanda de dispositivos) ya que la versión más actual de un dispositivo puede volverse obsoleta en un corto a mediano plazo, dificultando la adquisición de repuestos, actualizaciones de sistema operativo, entre otros aspectos necesarios para la realización de reparaciones o bien el correcto funcionamiento de un activo.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	58 de 105

Metodología de Mantenimientos Preventivos, Correctivos y/o Reparaciones


Como ya anteriormente se menciona, posteriormente a la realización del proceso de diagnóstico se continúa con el proceso de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y/o reparaciones según la incidencia reportada en el proceso de diagnóstico.

Es conocido que existen diferencias entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. También es importante afirmar que en varias ocasiones el mantenimiento correctivo puede referirse a la reparación de una o varias piezas del equipo en intervención.

Entonces, de acuerdo a lo anteriormente mencionado se describen a continuación en la tabla 8, las diferencias trazadas por el laboratorio en la metodología a seguir al momento de realizar intervenciones de diagnóstico y/o mantenimiento de equipos:

Tabla 8. Paralelo de metodología de intervenciones de servicio técnico.

Diagnóstico	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo
<ul style="list-style-type: none"> • Se revisa y verifica el estado físico (externo e interno) del dispositivo a intervenir. • Seguidamente, se inspecciona el funcionamiento de los componentes principales del dispositivo. • Posteriormente, se realizan pruebas de funcionamiento o medida. • Se documenta la información obtenida en un informe de servicio complementado con el respaldo de un registro fotográfico. • Se realizan sugerencias al usuario o cliente a fin de corregir las 	<ul style="list-style-type: none"> • Se verifica el estado físico (externo e interno) del dispositivo como también su correspondiente proceso de encendido. • Se realiza breve inspección de funcionamiento o medición del dispositivo. • Posteriormente, se procede a realizar limpieza del dispositivo tanto interna como externamente. • Seguidamente, se lubrican las partes del equipo que lo requieran. • Se realizan pruebas de funcionamiento y/o medición nuevamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene en cuenta inicialmente el diagnóstico realizado con anterioridad, de no existir se procede a verificar la falla o fallo del dispositivo indicado por el cliente. • Seguidamente, se procede a realizar el reconocimiento de los componentes afectados directa e indirectamente por el incidente encontrado. • Se procede a reemplazar los componentes afectados. • Se decide en conjunto con el usuario la realización del reemplazo

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	59 de 105


fallas encontradas por medio de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> Se documentan las observaciones realizadas complementadas con registro fotográfico. 	respectivo teniendo en cuenta criticidad, cantidad y costos de componentes afectados. <ul style="list-style-type: none"> De realizarse el reemplazo, se procede posteriormente a verificar el funcionamiento del equipo con las correcciones y/o reparaciones realizadas. Se documenta el procedimiento realizado complementado con registros fotográficos.
--	---	---

Como se puede apreciar, son apenas apreciables las diferencias entre las metodologías implementadas para la realización de las anteriores intervenciones. Y de acuerdo a lo mencionado, es importante describir a fondo dos de los aspectos tenidos en cuenta en cada intervención, como lo son el registro del procedimiento implementado que se debe consignar en un informe, como también el registro fotográfico que se debe a su vez registrar de la misma manera.

El formato a diligenciar posterior al momento en que se realice cualquier intervención de servicio técnico (diagnóstico, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y/o reparaciones) se puede apreciar en la figura 14 como sigue.

A manera de descripción del formato, se consigna en este la siguiente información:

- Código consecutivo de control de intervenciones.
- Información del cliente o empresa. Identificación de la institución como también del encargado u operario responsable del dispositivo.
- Identificación del dispositivo, marca, número serial, código interno, ubicación de proceso, división de escala (equipos medidores), clase (equipos de pesaje).
- Tipo de servicio realizado.
- Descripción de la metodología del servicio realizado.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	61 de 105

Metodología de Calibraciones

Una parte importante de todos los procedimientos analíticos es la calibración de los equipos medidores y estandarización del proceso. Básicamente, el proceso de calibración se resume en la comparación de errores de medida de un instrumento a calibrar con respecto a un instrumento o medida patrón. Mejor definido, el concepto de calibración según el vocabulario internacional de metrología puede ser la operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Teniendo en cuenta entonces lo anterior, se continúa con el desarrollo de la metodología de calibración de dispositivos medidores por parte del laboratorio de metrología. Como se menciona con anterioridad, es importante traer a colación la distinción establecida en el proceso de calibración de cada dispositivo de acuerdo a la magnitud que pertenece la variable que miden y además el principio de funcionamiento de estos.


Cabe mencionar que también para los procesos de calibración existe un formato donde se consignan los resultados obtenidos en dicho proceso por parte de los equipos a intervenir. Antes de pasar a mostrar el diligenciamiento y la diferenciación de cada formato es importante dejar varios conceptos en claro, ya que pueden tender a confundirse por el uso que se les da coloquialmente.

Como se pudo apreciar, el concepto de calibración se describe con anterioridad, tomando como referencia el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), ahora se pasa a establecer el concepto y por ende la diferencia entre este concepto de calibración y el concepto de “ajuste” o mejor expresado ajuste de medida.

El vocabulario internacional de metrología define como ajuste al conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud o variable a medir. Diversos tipos de ajuste de un sistema de medida son: ajuste de cero, ajuste de offset (desplazamiento) y ajuste de la amplitud de escala (denominado también ajuste de la ganancia).

No debe confundirse el ajuste de un sistema de medida con su propia calibración, que es un requisito para el ajuste. Después de su ajuste, generalmente un sistema de medida debe ser calibrado nuevamente (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

También es importante mencionar que casi todos los métodos analíticos requieren algún tipo de calibración según normas químicas. Los métodos gravimétricos y algunos métodos

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	62 de 105

coulombimétricos están entre los pocos métodos absolutos que no se basan en la calibración de acuerdo con normas químicas.

Algunos procedimientos analíticos requieren la comparación de una propiedad del analito (o del producto de una reacción con el analito) con estándares o patrones tales que la propiedad que se está probando concuerde de manera muy cercana con la del estándar.

Posteriormente, a esta clarificación se procede entonces a describir el proceso de ajuste de medida y calibración de los dispositivos a intervenir en el laboratorio.

Ajuste de medida de dispositivos en intervención metrológica


Como se pudo apreciar anteriormente, el procedimiento de ajuste de medida es totalmente diferente al proceso de calibración independiente del dispositivo en cuestión.

El proceso de ajuste se realiza en la gran mayoría de dispositivos (independientemente de la variable que midan) inicialmente introduciendo un código o combinación para posteriormente realizar el proceso de ajuste interno del dispositivo mediante elementos patronados como lo pueden ser soluciones buffer de pH para el caso de pHmetros, masas patrón para el caso de básculas y balanzas, soluciones de cloro libre para el caso de colorímetros detectores de cloro, por tomar algunos ejemplos.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante añadir que los estándares o patrones (masas, soluciones buffer, cuerpos negros, etc.) deben estar a su vez certificados mediante un laboratorio acreditado o bien desde su casa matriz. Estos certificados comúnmente son llamados trazabilidades y permiten obtener información acerca de los patrones implementados para el proceso de ajuste y posterior calibración de un dispositivo medidor.

Llegando entonces a este punto, se hace importante mencionar también factores que son de importancia a la hora de ajustar y posteriormente calibrar un dispositivo medidor. La incertidumbre al ser uno de estos factores se define como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurado, a partir de la información que se utiliza. La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Este parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica, en cuyo caso se denomina incertidumbre típica de medida (o un múltiplo de ella), o la semiamplitud de un intervalo con una probabilidad de cobertura determinada. En general, la incertidumbre de medida incluye diversos componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	63 de 105

proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad y probabilidad basadas en la experiencia u otra información (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Es importante también aclarar que, para una información dada, se sobreentiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.


Es sabido que el concepto de incertidumbre abarca una cantidad considerable de variaciones que poseen su correspondiente grado de importancia. De acuerdo a lo anterior, entonces se centra la atención en ciertas variaciones puntuales del concepto de incertidumbre. Estos conceptos son los siguientes, definidos por el VIM:

- **Incertidumbre objetivo**, es la incertidumbre de medida especificada como un límite superior y elegida en base al uso previsto de resultados de medida.
- **Incertidumbre expandida de medida**, es el producto de una incertidumbre típica combinada y un factor mayor que uno. El factor depende del tipo de distribución de probabilidad de la magnitud de salida en un modelo de medición y de la probabilidad de cobertura elegida habitualmente identificado con el símbolo k .

Otro de los términos a tener en cuenta es uno de los anteriormente descritos y ya mencionados. Tal es el caso de la *trazabilidad metrológica*. Está definida como la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

En esta definición, la referencia puede ser la definición de una unidad de medida, mediante una realización práctica, un procedimiento de medida que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal, o un patrón. Es importante mencionar que la trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida. La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

Para mediciones con más de una magnitud de entrada en el modelo de medición, cada valor de entrada debiera ser metrológicamente trazable y la jerarquía de calibración puede tener forma de estructura ramificada de red. El esfuerzo realizado para establecer la trazabilidad

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	64 de 105

metrológica de cada valor de entrada debería ser en proporción a su contribución relativa al resultado de la medición (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

También es importante afirmar que la trazabilidad metrológica de un resultado de medida no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medida a un fin dado, o la ausencia de errores humanos.

Es importante mencionar la claridad que hace ILAC, la cual considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad metrológica son: una cadena de trazabilidad metrológica ininterrumpida a un patrón internacional o a un patrón nacional, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, una competencia técnica reconocida, la trazabilidad metrológica al SI y los intervalos entre calibraciones (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Otro de los términos ampliamente utilizados en el aspecto metrológico es el de “errores máximos permitidos o tolerados”. Se define como error máximo permitido al valor externo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado. Se utiliza este término cuando existen dos valores extremos y cabe destacar que no debe confundirse con el término “tolerancia” (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2012).

Teniendo en cuenta las apreciaciones realizadas acerca de la terminología implementada en procesos de medición e intervenciones metrológicas, se procede entonces a describir y desarrollar el proceso de calibración de los dispositivos en el laboratorio.


Calibración de dispositivos medidores de masa

Inicialmente, cabe destacar que se contemplan principalmente dos dispositivos medidores de masa balanzas y básculas. Se conoce que existen diversas diferencias entre estos dispositivos, pero el aspecto o característica que se tiene en cuenta para diferenciarlas en laboratorio, es el rango de medida de masa que estas ofrecen.

Las balanzas son dispositivos medidores de masa que van desde unos cuantos miligramos (mg) a 40 kilogramos (kg). A su vez las básculas desde ofrecen un rango de medida que va desde 40 kilogramos hasta 600 kilogramos.

El proceso de calibración de estos dispositivos consiste en la realización de 4 pruebas, las cuales se listan a continuación:

- **Prueba de Repetibilidad (límite inferior o cercano):** Esta prueba consiste en realizar mediciones con masas patrón lo más cercano posible al límite inferior de medida del

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	65 de 105

dispositivo, a fin de verificar la repetibilidad o reproductibilidad de sus medidas en su límite inferior.

- **Prueba de Repetibilidad (límite superior o cercano):** Esta prueba consiste en realizar mediciones de la misma forma que la primera prueba, pero esta vez en el valor límite superior de medida del dispositivo o en un valor cercano. Con la finalidad de verificar que los datos medidos en esta parte del intervalo de medición puedan ser reproducidos posteriormente.
- **Prueba de Exactitud (a lo largo del intervalo):** La prueba de exactitud consiste en recorrer por decirlo de alguna manera el intervalo de medición del dispositivo, esto es haciendo varias mediciones con masas patrón (generalmente 5) desde su límite inferior, pasando por su punto medio y hasta llegar a su límite superior de medición. Por tomar un ejemplo, se tiene una balanza cuyo intervalo de mediciones es de 10g hasta 7kg. La prueba de exactitud se realizaría midiendo inicialmente su punto inicial de 0, posteriormente las mediciones se realizarían en el siguiente orden de valores 10g, 500g, 1000g, 3000g y por último 7000g. De acuerdo a lo anterior se busca cubrir de manera homogénea el intervalo de mediciones a fin de verificar la exactitud de las mediciones efectuadas por el dispositivo.
- **Prueba de Excentricidad en la Plataforma de Pesaje:** La prueba de excentricidad de medida se realiza para verificar la reproductibilidad o repetibilidad de las mediciones de masa en puntos estratégicos del área de la plataforma de pesaje del dispositivo medidor. Cabe destacar que esta prueba se realiza con un solo valor de masa. La distribución de medidas se puede apreciar en la siguiente figura 16, en la cual se especifica el proceso de mediciones para plataformas de forma circular y rectangular o cuadrada.

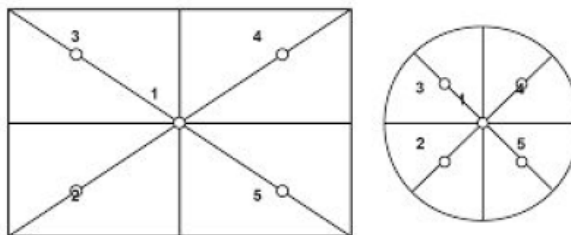



Figura 16. Prueba de excentricidad en plataformas de pesaje rectangulares y circulares (Ingeniería, 2019a).

Calibración de dispositivos medidores de temperatura, y temperatura-humedad relativa

Para este tipo de dispositivos, se implementa generalmente un dispositivo patrón que ofrezca una precisión de medida mayor a la del dispositivo en intervención. Cabe destacar que este dispositivo patrón debe estar calibrado por otro laboratorio de metrología según la norma ISO 17025.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	66 de 105

Para la realización del proceso de calibración de estos dispositivos es necesario remitirse al concepto básico de calibración, esto es la comparación de errores. El proceso de calibración se realiza entonces tomando datos de medida de temperatura (y humedad relativa según el dispositivo) en un determinado tiempo a fin de comparar la diferencia de los valores registrados por cada dispositivo.

Cabe destacar que se conoce una cantidad considerable de dispositivos de medida de temperatura y humedad relativa. Lo que se quiere decir con esto, es que de acuerdo al dispositivo se tiene un valor diferente de error máximo permitido, el cual se debe tener en cuenta a la hora de la realización de calibración de los mencionados dispositivos.

Calibración de luminómetros

La calibración de estos particulares dispositivos correspondientes a la magnitud de óptica, se realiza midiendo la concentración de ATP de dos grupos de hisopos encargados idealmente de la recolección de muestras para posterior medición en el dispositivo. inicialmente se tienen dos hisopos para calibración de límites positivos y negativos de medición los cuales tienen una concentración de ATP definida y estandarizada. El segundo grupo de hisopos contiene una adición de una enzima que se encarga de “activar” el hisopo al entrar en contacto con el ATP contenido en un grupo de soluciones de ATP anteriormente dispuestas en este.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito es importante aclarar que no se tiene un valor definido sobre el cual comparar los valores obtenidos en la calibración del dispositivo. Para esto, se tiene un intervalo que dependerá directamente del luminómetro a calibrar. Para el caso de este laboratorio, se tienen dos modelos de luminómetro a intervenir, los intervalos de medición de estos se muestran a continuación en la tabla 9:


Tabla 9. Rango de medidas de luminómetros SystemSure y EnSure.

Luminómetro SystemSure Plus	Luminómetro EnSure
0-4 URL	0-4 URL
40-80 URL	80-160 URL

Es importante destacar también que los estándares de calibración para luminómetros tienen los siguientes valores para los modelos anteriormente descritos. Dichos valores se pueden apreciar como sigue en la tabla 10:

Tabla 10. Patrones de calibración para luminómetros SystemSURE y EnSure.

Patrones para SystemSure Plus	Patrones para EnSure
PCD 4000	
Solución de ATP 20 nmol Solución de ATP 200 nmol Solución de ATP 2000 nmol	Solución de ATP 40 nmol Solución de ATP 400 nmol Solución de ATP 4000 nmol

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	67 de 105

Calibración de Crioscópios

El proceso de calibración de estos dispositivos está también estrechamente relacionado con su correspondiente proceso de ajuste. Es importante destacar que la totalidad de los dispositivos de crioscopia intervenidos en el laboratorio se ajustan con estándares de calibración que son proveídas por el fabricante (como el caso de ASTORI y Funke Gerber). Describiendo un poco estos estándares de calibración, cabe destacar que son soluciones con una temperatura de congelación definida, la cual debe ser alcanzada por el dispositivo a fin de que, al realizar el análisis de porcentaje de agua añadida en leche, se tengan medidas fiables de temperatura.

Las temperaturas descritas con anterioridad son 0.000°C y -0.557°C para el estándar A y B respectivamente. Estas temperaturas se tienen en cuenta debido a que se sabe que el punto de congelación del agua son 0.0°C y para la leche oscila en temperaturas de -0.513°C y -0.565°C .


Continuando entonces con el procedimiento de calibración del crioscopio, se disponen (posteriormente al ajuste) tres muestras de cada solución estándar en un vial de medición con 2 a 2.5 ml y realizar mediciones (en total 6), posteriormente se registran los datos y se realizan los cálculos pertinentes de incertidumbre y errores de medición.

Calibración de pH metros o potenciómetros

La calibración de estos dispositivos correspondientes a la magnitud de electroquímica, se realiza estrechamente relacionada con el proceso de ajuste de medida de estos dispositivos en su gran mayoría. Estos dispositivos poseen en su mayoría un conjunto de soluciones buffer previamente patronadas con las que se realiza el proceso de calibración.

El proceso a seguir se describe a continuación:

1. Acceder al modo de calibración del dispositivo.
2. Seleccionar (si es el caso) el conjunto de valores de las soluciones buffer para calibrar el dispositivo.
3. Disponer el electrodo del dispositivo en la primera solución buffer e iniciar la lectura automática del dispositivo. Generalmente se inicia el proceso de calibración midiendo desde las soluciones de pH ácido a básico.
4. Enjuagar y secar el electrodo para eliminar rastros de la anterior solución antes de pasar a la siguiente solución buffer, e igualmente iniciar la lectura automática del dispositivo.
5. Realizar el mismo procedimiento anterior para realizar la siguiente o última medición (en caso de realizar calibración en 3 puntos).
6. Salir del modo de calibración del dispositivo y realizar mediciones.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	68 de 105

Posterior al anterior proceso, se realiza medición de pH con las mismas soluciones buffer implementadas para la realización del ajuste del dispositivo a fin de comparar los datos medidos con los valores definidos por las soluciones patrón y de existir errores, corregirlos mediante otro proceso de ajuste.

Calibración de equipos de volumen (pipetas, micropipetas, dosificadores)

Para la realización del proceso de calibración de estos dispositivos, se tienen como referencia los procesos y principios gravimétricos. Básicamente, lo anteriormente mencionado consiste en que, por el principio de gravimetría las medidas efectuadas por estos dispositivos de volumen (pipetas, micropipetas, dosificadores y demás) con un determinado fluido pueden ser trasladadas a medidas de masa.


Según la norma para calibración de material volumétrico ASTM-E-542 el proceso a seguir para realizar la calibración de dispositivos medidores de volumen (para el caso de pipetas, micropipetas y dosificadores) es el siguiente:

- Llenar el dispositivo con agua destilada o desionizada por succión hasta la medida deseada o establecida para realizar calibración (ejemplo 0.01 ml).
- Seguidamente, disponer un vaso de precipitado (beaker) preferiblemente de vidrio en una balanza analítica para proceder a medir su masa. Posterior a la medición de la masa del beaker se procede a tarar la balanza para que sus mediciones posteriores inicien nuevamente desde cero.
- Posteriormente, se procede a depositar el contenido del dispositivo de volumen al interior del vaso de precipitado. Este proceso debe realizarse como mínimo 5 veces, esto con el fin de obtener resultados de medida más fiables a la hora de realizar los cálculos correspondientes de incertidumbres y errores.
- Por último, se realizan los respectivos cálculos de incertidumbre y errores con base a las mediciones efectuadas por el dispositivo (Practice, 2010).

Calibración de un estándar externo

Un estándar o patrón externo se calibra o prepara por separado del dispositivo a intervenir. Es sabido que los estándares externos se usan para calibrar instrumentos y procedimientos. Es conveniente aclarar que para definir o establecer un determinado dispositivo como patrón se deben tener en cuenta ciertas características de este como lo son las siguientes:

- Alta precisión y reproductibilidad de medidas.
- Tiempo de respuesta pequeño.
- Estabilidad en las medidas.
- Rango amplio de medición.
- Resistencia de operación en varios ambientes.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	69 de 105

El tener en cuenta estas características mencionadas anteriormente permite una mayor funcionalidad como también ofrecer confiabilidad en los resultados de medición a la hora de comparar con los mencionados instrumentos a intervenir.


Entonces, teniendo en cuenta lo anterior la calibración de estos dispositivos debe realizarse por un agente externo al laboratorio u organismo que lo utilice. Esto anterior especificado en la norma ISO 17025 asegura que los laboratorios de metrología no jueguen el papel de juez y parte en la preparación de los equipos implementados en las intervenciones que este mismo realiza. A su vez, estos procesos de calibración de patrones se realizan como una especie de cascada teniendo como inicial eslabón a los entes reguladores nacionales e internacionales, como puede ser el ejemplo de NIST (*National Institute of Standards and Technology*) u ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), pasando así a los eslabones finales como lo pueden ser los laboratorios de metrología, en este caso ASCAVI Group. Cabe destacar que de igual forma estos dispositivos dependiendo de la variable que midan se calibrarán teniendo en cuenta los anteriores procesos mostrados.

Por último, en este capítulo es importante mencionar que es imperativo de igual forma que en las intervenciones de servicio técnico, proveer un informe detallado de los datos obtenidos en el proceso de calibración y su posterior análisis, como también el incluir una estampilla que identifique al dispositivo intervenido, esto como ya se comentó provee la capacidad de tener una métrica de información relativa al desempeño, y en este caso más específicamente de la calidad de las medidas desarrolladas por el dispositivo en cuestión. La descripción del contenido de los informes correspondientes a las intervenciones metrológicas se estudia en secciones posteriores a esta.

La estampilla que debe adherirse al dispositivo se ilustra a través de la figura 17 que se muestra a continuación.



Figura 17. Sticker informativo de calibración. Fuente: Elaboración propia.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	70 de 105

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE EJEMPLOS DE INTERVENCIONES METROLÓGICAS Y DE SERVICIO TÉCNICO.

En esta sección, se describen puntuales ejemplos de cada intervención realizada en laboratorio, teniendo en cuenta el reporte de objetivos que se ha realizado hasta esta parte del trabajo escrito. Es importante aclarar que para la realización de esta descripción de intervenciones de servicio técnico se realizan teniendo en cuenta la mayor cantidad de detalles que puedan intervenir en el funcionamiento de los activos.

Descripción de Intervenciones de Servicio Técnico

A continuación, se describen entonces varios ejemplos de las intervenciones de servicio técnico (diagnóstico, mantenimientos y/o reparaciones) desarrolladas en laboratorio. Cada una de estas consignada en su respectivo informe puede encontrarse en los anexos a este trabajo escrito, es importante aclarar que solo se muestra el proceso implementado y desarrollado en la intervención.

Diagnóstico de funcionamiento de un Crioscópio y posterior mantenimiento correctivo.

Este proceso de intervención se realiza como ya se ha indicado a un equipo analizador del punto de crioscopía de la leche.

1. Testimonio humano e incidencias reportadas

Inicialmente, se tiene el testimonio humano cuya importancia es alta a la hora de realizar estas intervenciones. Se especificó que el dispositivo no realizaba mediciones correctas de la temperatura de la muestra y que además de eso en repetidas ocasiones este no terminaba de congelar la muestra o por el contrario la congelaba demasiado rápido.


2. Diagnóstico inicial

De acuerdo al anterior reporte, se tienen varias hipótesis que posteriormente serán descartadas o bien tenidas en cuenta para dar un diagnóstico concreto acerca de las incidencias encontradas en el dispositivo. Las hipótesis mencionadas son las siguientes:

- Contaminación en el líquido de enfriamiento.
- Avería en la celda de enfriamiento.
- Mala configuración de los parámetros de medida.
- Avería en el termistor.

3. Descarte de hipótesis y construcción de diagnóstico

Teniendo en cuenta las hipótesis anteriores, se procede entonces a realizar pruebas de funcionamiento del dispositivo a fin de encontrar el origen de la falla además de descartar también las hipótesis erróneas que puedan tenerse acerca de esta.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	71 de 105

- **Contaminación en el líquido de enfriamiento:** Para descartar esta hipótesis se realiza el correspondiente cambio de líquido refrigerante, lo cual resultó en la persistencia de la falla.
- **Avería en la celda de enfriamiento:** Posteriormente al cambio de líquido refrigerante se observa que la celda o unidad de enfriamiento desempeña su función de manera normal y no se observa ninguna anomalía.
- **Mala configuración de los parámetros de medida:** Se procede a configurar los parámetros de medida del dispositivo a estado de fábrica, lo cual resultó una vez más en la persistencia de la falla.
- **Avería en el termistor:** Para comprobar la certeza de esta hipótesis se introdujo un sensor de temperatura ajeno al proceso normal de medición de temperatura realizado por el dispositivo, lo cual dio como resultado diferencia en la medida del termistor del dispositivo con el sensor externo. De acuerdo a lo anterior se construye entonces el diagnóstico real de la falla del crioscópio.

El diagnóstico entregado al cliente es el siguiente. Equipo medidor de crioscopia de leche posee avería en el termistor encargado de la medición de temperatura de la muestra, lo cual no permite realizar mediciones de temperatura fiables desencadenando errores en el funcionamiento del dispositivo como congelamiento de la muestra en un tiempo menor al establecido o por el contrario no congelamiento de la muestra debido a que no se alcanzaba a medir la temperatura deseada en la muestra del dispositivo.

4. Proceso de mantenimiento correctivo

Teniendo en cuenta que, en el laboratorio en cuestión, todo cambio de cualquier componente se define como mantenimiento correctivo se procede a demostrar el procedimiento realizado para esta intervención.

El proceso de cambio de termistor se ilustra en las figuras 18, 19, 20, 21 y 22 que se muestran a continuación. Además de esto, se puede apreciar la inspección realizada de los componentes internos del dispositivo.



Figura 18. Crioscópio. Fuente: Elaboración propia.

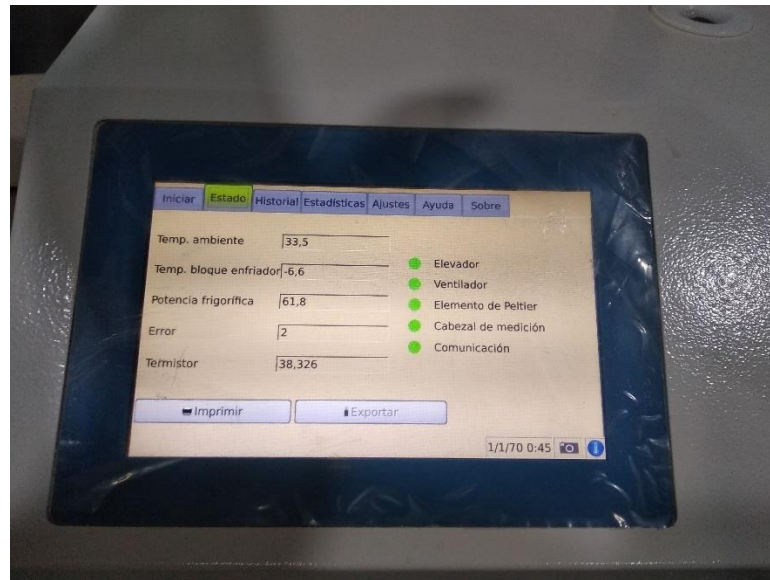


Figura 19. Interfaz de crioscópio. Fuente: Elaboración propia.

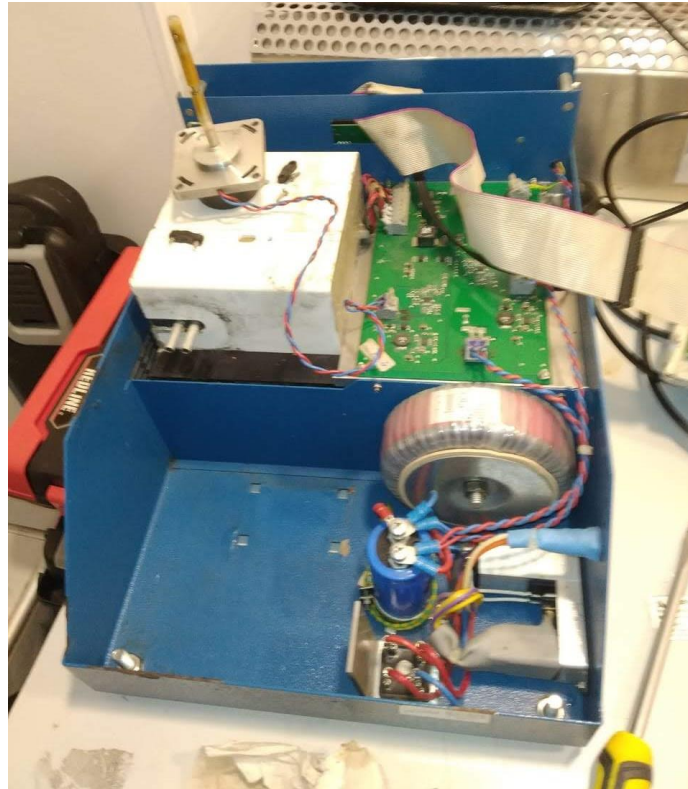


Figura 20. Inspección interna de crioscopio. Fuente: Elaboración propia.

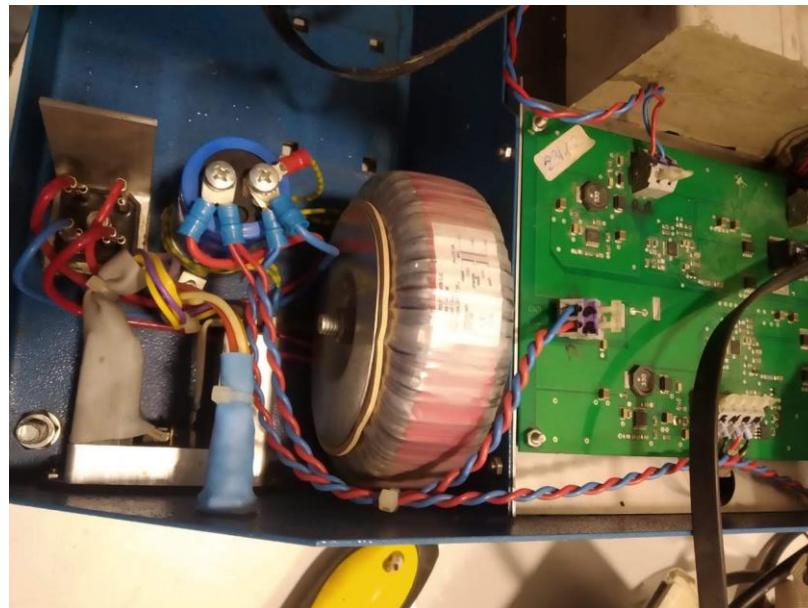


Figura 21. Etapa de regulación de energía de crioscopio. Fuente: Elaboración propia.


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	74 de 105



Figura 22. Termistor de crioscopio. Fuente: Elaboración propia.

5. Consideraciones


Posterior a la realización del mantenimiento correctivo del dispositivo es importante mencionar (y se menciona anteriormente) que para la realización de esta y demás intervenciones se tienen en cuenta factores que pueden incidir en la realización o no realización del proceso de mantenimiento.

En este caso se tiene en cuenta que inicialmente el dispositivo en cuestión es producido en Alemania y la consecución de repuestos significa realizar todo un proceso de importación teniendo en cuenta que a pesar de ser el termistor un componente importante y de precio considerablemente alto, pero no mayor al precio del dispositivo, se hizo necesario el proceso de importación mencionado con anterioridad con la autorización del cliente.

Diagnóstico de falla de un floculador y posterior mantenimiento correctivo.

La siguiente intervención se realiza a equipo floculador, el cual se implementa en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Cabe destacar que particularmente no es un dispositivo que realice medición de alguna variable, y que básicamente realiza mezclado de sustancias involucradas en el proceso que le da su nombre.

El proceso de floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería (E. y Laboratorio, 2018).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	75 de 105

1. Testimonio humano e incidencias reportadas

El testimonio humano en este caso, reportaba que no era posible realizar el encendido del equipo. Al realizar revisión superficial de componentes, se observa que el fusible protector del dispositivo se encontraba averiado, lo cual evidencia de una posible subida en el suministro de energía.

2. Diagnóstico inicial

Llegando a esta parte de la intervención, se procede como tal a encontrar el origen y alcance de la incidencia reportada en el funcionamiento del dispositivo. De acuerdo a lo anterior se manejan varias hipótesis como en el caso anterior, estas son:

- Avería en el circuito de alimentación principal del dispositivo.
- Avería en uno o más componentes del circuito de protección del dispositivo.

3. Descarte de hipótesis y construcción de diagnóstico

De acuerdo a las anteriores hipótesis, se procede a encontrar el origen de la falla del dispositivo. Para realizar esto, se procede a descartar las mencionadas hipótesis manejadas.

- *Avería en el circuito de alimentación principal del dispositivo:* Por medio del test de continuidad de conexiones, se descarta esta hipótesis ya que la totalidad de las conexiones se encontraron continuas, pero relevantemente desgastadas, especialmente las dirigidas a la etapa de regulación (entrada del transformador).
- *Avería en uno o más componentes del circuito de protección del dispositivo:* Verificando el estado de los componentes del circuito de protección del dispositivo, se evidencia que uno de los capacitores conectados en paralelo al varistor y entrada de transformador respectivamente se encontraba en corto circuito, lo cual no era factible debido a que, por la topología del circuito en cuestión, esto significaría cortocircuitar la fuente en pocas palabras.

De acuerdo a lo anterior el diagnóstico entregado al cliente establece que debido a una subida en el suministro de energía para la alimentación del dispositivo se reporta daño en uno de los componentes del mismo, lo cual impedía su proceso de encendido y posterior funcionamiento.



4. Proceso de mantenimiento correctivo

El proceso de mantenimiento correctivo en este caso coincide con el anterior. Se procede a reemplazar una pieza fundamental en el funcionamiento del dispositivo en cuestión. El proceso de mantenimiento se ilustra a través de las figuras 23, 24 y 25 respectivamente, que se muestran a continuación.

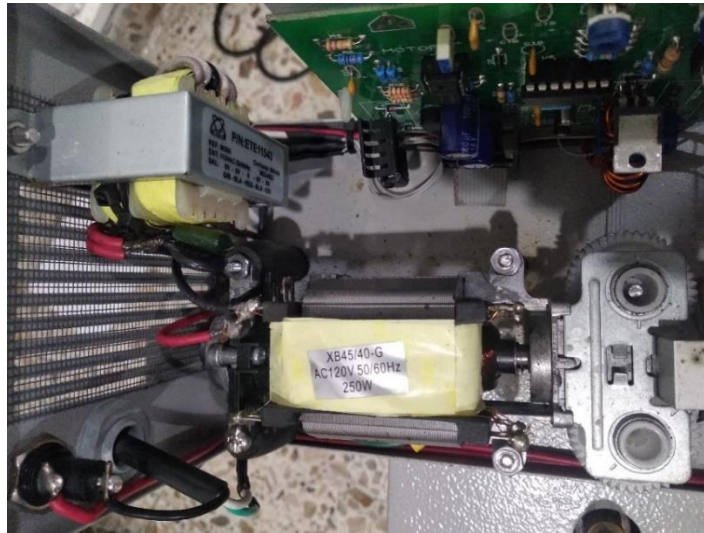


Figura 23. Circuito de potencia y control de floculador (averiado). Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Circuito de alimentación principal de floculador (en intervención). Fuente: Elaboración propia.

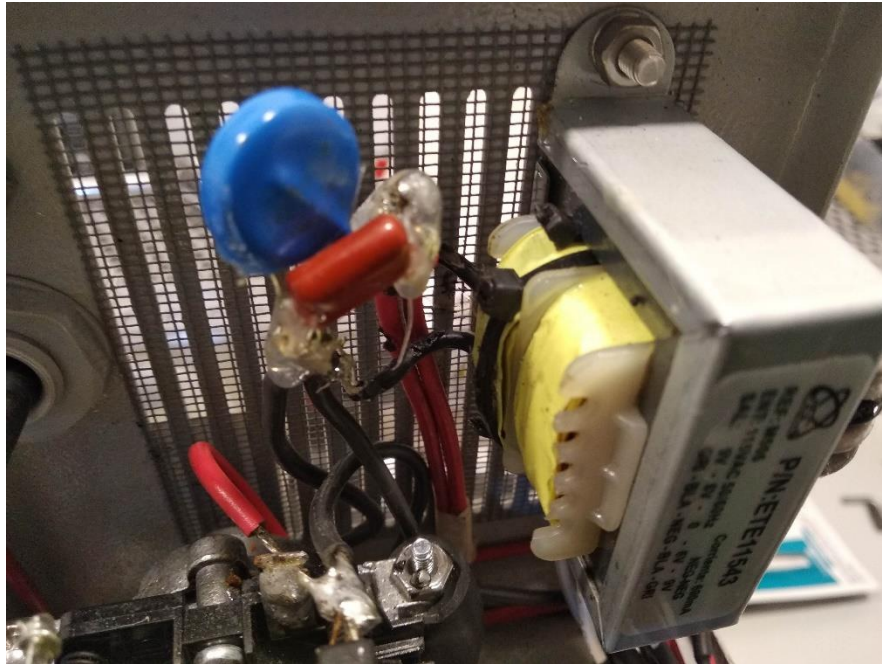


Figura 25. Circuito de alimentación principal de floculador (restaurado). Fuente: Elaboración propia.

5. Consideraciones


Inicialmente, cabe destacar que en este caso el componente a reemplazar en el dispositivo no era de difícil acceso y mucho menos requería un proceso de importación. Debido a lo anterior no representó un tema de análisis para el cumplimiento de la intervención como en el anterior caso descrito.

Diagnóstico de funcionamiento de un Analizador de leche y posterior mantenimiento preventivo

La siguiente intervención se realiza a un dispositivo analizador de leche. En particular diferente al crioscopio que también analiza leche y sus derivados, específicamente el punto de crioscopía. El analizador de leche se fija en propiedades como grasa, lactosa, proteína, sólidos no grasos, etc.

1. Testimonio humano e incidencias reportadas

Inicialmente, al recibir el dispositivo se recibe en buen estado y sin ninguna anomalía aparente en su estructura y componentes externos. El dispositivo funciona correctamente, pero debido al tiempo de servicio se hace necesaria la intervención y realización de servicio técnico.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	78 de 105

2. Diagnóstico inicial

El diagnóstico inicial se limita a reportar la posible contaminación y/o anomalías leves que el dispositivo en cuestión pueda presentar las cuales puedan ser solventadas por limpieza o un pequeño ajuste. En este caso, es muy común encontrar rastros de leche en el juego de mangueras de estos dispositivos a tal punto de formarse pequeños cúmulos de piedra de leche como es el caso de este equipo.

3. Proceso de mantenimiento preventivo

Entrando a esta etapa de la intervención del dispositivo analizador de leche, se procede inicialmente a verificar que este desempeñe correctamente su proceso de medida. Posteriormente se procede a realizar un proceso de limpieza de componentes internos como bombas peristálticas y sensor de ultrasonidos.

Se evidencia entonces que el dispositivo desempeña correctamente el proceso de medición, permitiendo inicialmente visualizar los datos en el display del mismo y seleccionar mediante teclado el tipo de leche a analizar. Además de esto se evidencia también leve corrosión en ciertas partes del dispositivo debido al húmedo ambiente en que este pueda desenvolverse.

Al inspeccionar el interior del dispositivo se evidencian los restos de material de trabajo al interior de las mangueras. Es importante aclarar que exclusivamente para estos dispositivos el mantenimiento preventivo cubre el cambio de mangueras debido a que estas no son un componente esencial para el funcionamiento del dispositivo.

Seguidamente se realiza la limpieza preventiva de las tarjetas controladoras del equipo, como también de los componentes internos (bombas peristálticas y sensor ultrasónico).

El proceso descrito con anterioridad se ilustra a continuación por medio de las figuras 26, 27, 28 y 29.



Figura 26. Analizador de leche. Fuente: Elaboración propia.

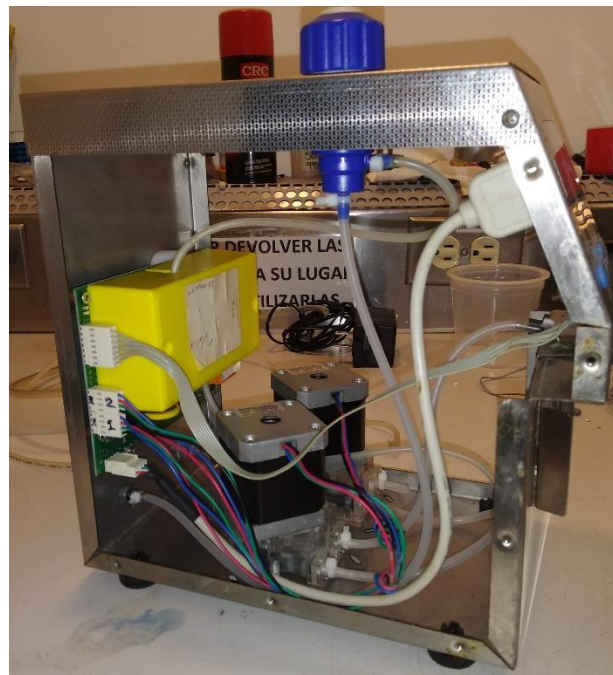


Figura 27. Inspección interna de analizador de leche. Fuente: Elaboración propia.

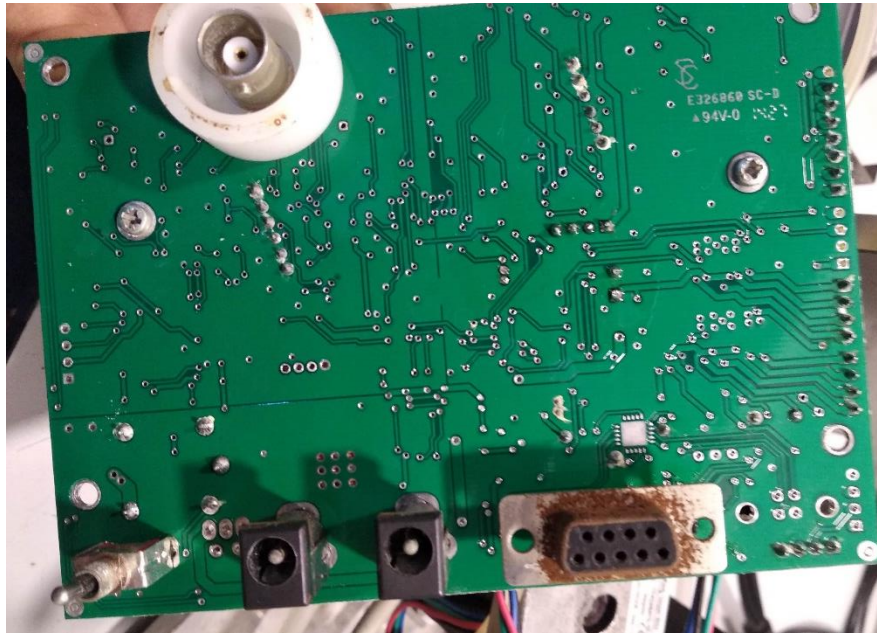


Figura 28. Limpieza preventiva de tarjeta principal de control de analizador de leche. Fuente: Elaboración propia.

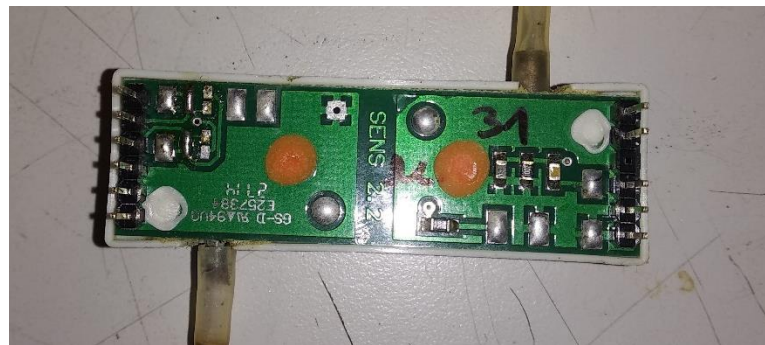



Figura 29. Limpieza preventiva de sensor ultrasónico de analizador de leche. Fuente: Elaboración propia.

4. Consideraciones

En este caso es importante mencionar que el proceso de limpieza de componentes y mangueras (de ser necesario) se debe realizar a través de tres etapas, estas son:

1. *Limpieza con detergente enzimático:* En esta etapa se implementa detergente enzimático diluido debido a que es el ideal para eliminar contaminación por restos de material orgánico como leche en este caso.
2. *Limpieza con agua:* Esta etapa se realiza para eliminar los posibles rastros de detergente producto de la anterior etapa de limpieza como también

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	81 de 105

para garantizar el flujo a través de todo el juego de mangueras, bombas y sensor.

3. *Limpieza con aire:* Esta etapa de limpieza se realiza para eliminar posible humedad producto de la anterior etapa de limpieza como también para evitar perturbaciones por contaminación en las mediciones que se realicen posteriormente.

Descripción de Intervenciones Metrológicas

Posterior a las intervenciones de servicio técnico generalmente deben realizarse las intervenciones metrológicas que involucran los procesos de calibración, verificación y validación de dispositivos netamente medidores.

Es importante destacar que las intervenciones metrológicas se realizan siempre después de cualquier intervención de servicio técnico debido a que, de invertirse el orden de ejecución de estas, se podría alterar en el servicio técnico el ajuste y calibración realizado primeramente si fuese el caso.

Es importante mencionar y tener en cuenta el papel que juegan los cálculos de incertidumbre en estas intervenciones, por lo cual se dedica una sección posterior a la descripción de intervenciones metrológicas a los cálculos a realizar posterior a la toma de datos correspondientes a la calibración de dispositivos.


De acuerdo a lo anterior entonces se procede a describir puntualmente un número selecto de intervenciones metrológicas que se han realizado a equipos medidores de distintas variables metrológicas, estas se muestran a continuación.

Calibración de Analizador de Leche

Posteriormente a la realización del ajuste de medida de un dispositivo analizador de leche, se procede a realizar la calibración de sus medidas una vez más recordando que esto es posible realizarlo por medio de comparación de errores con respecto a los patrones implementados.

En este caso los mencionados patrones, son tipos de leche común, pero a los cuales se les ha establecido valores de propiedades puntuales que se estudian a varios tipos de leche, mediante el previo análisis de un laboratorio acreditado. Las propiedades mencionadas que el dispositivo analizador de leche se encarga de monitorear se listan a continuación:

- Grasa
- Proteína
- Densidad

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	82 de 105

- Lactosa
- Sólidos no grasos
- Sales
- % de agua añadida

Para la ejecución de la comparación de los valores medidos por el dispositivo analizador de leche con los respectivos valores patrón, basta con añadir una muestra de la leche a analizar en el compartimiento de succión. Este proceso debe realizarse 5 veces y con dos tipos de leche, estas son leche alta y leche baja en grasa. Los valores obtenidos (promedios comparados con los patrones) en el proceso de calibración se muestran a continuación en la tabla 11:

Tabla 11. Resultados de medición de propiedades de leche alta y baja en grasa.

Grasa	Densidad	SNG	Sales	Proteína	Lactosa	%agua	Punto de Congelación °C
3,09	29,93	8,28	0,68	3,23	4,68	0,57	-0,53
3,06	29,85	8,25	0,68	3,22	4,63	0,57	-0,53
3,09	29,75	8,25	0,68	3,19	4,65	0,57	-0,53
3,08	29,84	8,23	0,68	3,21	4,65	0,57	-0,53
1,55	31,38	8,59	0,71	3,27	4,76	NA	-0,52
1,55	31,28	8,57	0,70	3,26	4,74	NA	-0,52
1,56	31,23	8,54	0,70	3,25	4,73	NA	-0,52
1,55	31,27	8,56	0,70	3,26	4,74	NA	-0,52
3,076	29,81	8,26	0,68	3,21	4,643	0,57	-0,53
1,55	31,26	8,56	0,70	3,26	4,74	NA	-0,52

Es sabido que entre más cercanos estén los valores medidos por el dispositivo de prueba a los valores patrón (o medidos por el dispositivo patrón) se tendrá un valor de incertidumbre relativamente pequeño y por ende las mediciones posteriormente realizadas ofrecerán resultados más confiables.

De acuerdo a lo anteriormente dicho se tienen entonces los rangos de errores máximos permitidos para mediciones de leche de vaca (alta y baja en grasa) dispositivos analizadores de leche dispuestos en la tabla 12:

Tabla 12. Rangos de errores máximos permitidos para medición de parámetros de análisis de leche.

Grasa	Densidad	SNG	Sales	Proteína	Lactosa	% agua
± 0.06%	± 0.3 kg/m ³	± 0.15%	± 0.05%	± 0.15%	± 0.2%	± 3.0%

(Milkotronic, 2012).

Calibración de Balanza

De acuerdo a lo mencionado con anterioridad, el realizar calibraciones a equipos de pesaje (básculas y balanzas) involucra la realización de 4 pruebas específicas para comparar los errores obtenidos en las mediciones de masas patrón.

Un ejemplo de lo que serían los resultados de cada prueba realizada se muestra a continuación en las tablas 13 a la 17, teniendo en cuenta que puede existir el escenario donde se obtengan medidas relativamente exactas sin necesidad de la realización de algún ajuste en la programación del dispositivo. Es también importante mencionar que debe incluirse en cada proceso de calibración la información de los patrones implementados para la realización de esta.

Tabla 13. Masas usadas en el proceso de calibración.

Valor nominal (g)	Clase	Incertidumbre
500	E2	0.127
1000	F1	1.300
10000	F1	33.000
20000	M1	165.000
30000	M1	198.000

Tabla 14. Resultados de prueba de repetibilidad 1.

Carga	500	g
Repetición	Indicación	Error
1	500	0
2	500	0
3	500	0
4	500	0
5	500	0
Promedio	500	g

Tabla 15. Resultados de prueba de repetibilidad 2.

Carga	30000	g
Repetición	Indicación	Error
1	29990	-10
2	29990	-10
3	30000	0
4	30005	5
5	29990	-10
Promedio	29995	g


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	84 de 105

Tabla 16. Resultados de prueba de excentricidad.

Carga	5000	g
Posición	Indicación	Error
1	5000	-
2	4995	-5
3	5000	0
4	5005	5
5	5000	0
1	5000	0
Promedio	5000	g

Tabla 17. Resultados de prueba de exactitud.

Carga (g)	Indicación (g)	Error (mg)	Incertidumbre Exp. (mg)
0	0	0.000	-
500	500	0.000	0.445
1000	100	0.000	8.125
10000	1000	0.000	101.400
20000	19995	-5000.000	583.422
30000	29990	-10000.000	684.323

Calibración de Termómetros y Termohigrómetros

La calibración de estos dispositivos medidores de temperatura como ya se ha podido mencionar también, se realiza comparando los resultados en las medidas del dispositivo en prueba con respecto a los de un dispositivo patrón. A parte de lo anteriormente descrito es importante tener en cuenta que este proceso debe hacerse con la menor interferencia o perturbación posible, ya que se ha podido apreciar que (en el caso de termohigrómetros) la sonda de algunos dispositivos era sostenida por medio de soportes que podían aportar un sesgo en la medición correcta de temperatura. Generalmente, los resultados obtenidos en los procesos de calibración de dispositivos de temperatura se consignan tal como aparecen en las tablas 18 y 19 a continuación:

Tabla 18. Resultados de medida de termómetros de prueba y patrón.

Patrón	Termómetro de Prueba	Error
24.40	24.60	-0.20
24.40	24.50	-0.10
24.40	24.50	-0.10
24.40	24.60	-0.20
24.40	24.60	-0.20
Promedio	24.56	-0.16


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	85 de 105

Tabla 19. Resultados de medición promedio de comparación de termómetros de prueba y patrón.

Punto	Temperatura Patrón °C	Termómetro de Prueba °C	Error °C	Incertidumbre °C
1	24.40	24.6	-0.16	0.197

Calibración de Luminómetro

La calibración de estos dispositivos correspondientes a la magnitud de óptica obedece generalmente un orden. Es conveniente recordar también que al manejarse dos modelos de luminómetro (SystemSure Plus y EnSure) se manejarán respectivamente también dos intervalos de medida, dentro de los cuales deberán estar los resultados obtenidos para garantizar la confiabilidad de las posteriores mediciones efectuadas por los dispositivos, o en pocas palabras que las mediciones del equipo se encuentran dentro de los intervalos de errores máximos permitidos y debidamente calibrado. El orden establecido entonces dicta que se deben realizar mediciones con el estándar PCD4000 cuyos resultados para estándar positivo (rojo) y negativo (azul) se muestran en la tabla 20 a continuación para cada modelo de luminómetro:


Tabla 20. Resultados de calibración con estándar positivo y negativo para luminómetros SystemSURE y EnSure.

SystemSure Plus	EnSure
56	114
57	112
58	118
0	0
0	0
0	1

Posteriormente, se tendrán los resultados obtenidos en las mediciones para el caso del siguiente estándar, el cual se divide en mediciones de soluciones de concentración definida de ATP. Los resultados se muestran como sigue en la tabla 21:

Tabla 21. Resultados de calibración con método side by side para luminómetros SystemSURE y EnSure.

	SystemSure Plus	EnSure
20/40 nMol	20	38
	18	39
	19	37
200/400 nMol	196	384
	194	390
	200	392
2000/4000 nMol	1998	3780
	2001	3365
	2002	3042

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	86 de 105

Cálculos estadísticos de incertidumbre, desviaciones y errores


Posterior a la toma de datos necesaria para la realización del proceso de calibración de dispositivos medidores, se realizan los correspondientes cálculos estadísticos de desviaciones e incertidumbres por tener unos ejemplos cuya importancia es tal que a través de estos se estudia la confiabilidad en las medidas del dispositivo en intervención teniendo en cuenta su precisión y grado de exactitud en los resultados de las mediciones efectuadas.

Es importante aclarar que los posteriores cálculos son realizados de manera sistematizada al momento de realizar el informe de calibración respectivo, por medio del uso de las herramientas que provee una hoja de cálculo común se llevan a cabo las operaciones matemáticas y estadísticas que se estudian posteriormente. Esto anterior con el fin de realizar un proceso de cálculo ordenado y con la menor presencia posible de errores.

Es preciso introducir en esta parte del estudio ciertos conceptos a fin de esclarecer los enfoques a los que van dirigidos estos cálculos a la hora de su realización, estos se listan a continuación:

- **Imprecisión:** Coeficiente de variación de un conjunto de resultados obtenidos al medir repetidamente un mensurando con un mismo procedimiento de medida.
- **Error máximo permitido (de un instrumento de medida):** Valor externo de un error permitido por especificaciones, reglamentos, etc. para un instrumento de medida dado.
- **Error sistemático:** Media que resultaría de un número infinito de medidas del mismo mensurando realizadas bajo condiciones de repetibilidad menos un valor verdadero del mensurando.
- **Resolución:** La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa.
- **Trazabilidad:** Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Teniendo en cuenta lo anterior el paso a seguir posterior a la toma de datos de cualquier proceso de calibración referente a las variables mencionadas es el de realizar cálculos estadísticos correspondientes, teniendo en cuenta que para cada variable se tiene una forma de realizar cálculos distinta. Con mayor detalle se estudia a continuación el procedimiento a realizar para la obtención de los resultados de los cálculos:

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	87 de 105

Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos medidores de temperatura

1. Calcular con los datos tomados con anterioridad la media tanto para las mediciones del dispositivo patrón t_p como para las mediciones del dispositivo de prueba t_x .
2. Calcular la desviación típica para ambos dispositivos S_p y S_x .
3. Calcular el error sistemático $E_s = t_p - t_x$.
4. Calcular la incertidumbre combinada expandida para una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%, por medio de la ecuación 3 que se muestra como sigue. (Ingeniería, 2019b).

$$U_e = 2 * \sqrt{S_p^2 + S_x^2 + 0,084 * (r_p^2 + r_x^2) + 0,25 * U_p^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

U_e , es la incertidumbre combinada típica.

S_p , es la desviación estándar del dispositivo patrón.

S_x , es la desviación estándar del dispositivo a calibrar.

r_p , es la resolución del dispositivo patrón.


r_x , es la resolución del dispositivo a calibrar.

U_p , es la incertidumbre asociada a la calibración del dispositivo patrón.

Cabe realizar la claridad de que estas medidas realizadas con el dispositivo de prueba que se trate, tienen las siguientes fuentes de incertidumbre (U):

- a) Incertidumbre asociada a la dispersión de lecturas S_p y S_x :** Se calcula a partir de la desviación típica estándar de 5 medidas (Ingeniería, 2019b).
- b) Incertidumbre asociada a la resolución (U_r):** La resolución del termómetro patrón (r_p) y la del termómetro a calibrar (r_x) ocasionan errores aleatorios de redondeo. La amplitud de la distribución de posibles errores es igual a la resolución y, en este intervalo, cualquier valor tiene las mismas probabilidades de producirse debido a la distribución rectangular. En este tipo de distribución, la desviación típica es igual a la amplitud de la distribución dividida por la raíz cuadrada de 12 (Ingeniería, 2019b).
- c) Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro patrón:** La cual se calcula por medio de la ecuación 4, que se muestra a continuación:

$$U_{rp} = \frac{r_p}{\sqrt{12}} = 0.29r_p \quad \text{Ecuación 4}$$

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	88 de 105

- d) **Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro a calibrar:** La cual se cual se obtiene aplicando la ecuación 5.

$$U_{rx} = \frac{r_x}{\sqrt{12}} = 0.29r_x \quad \text{Ecuación 5}$$

- e) **Incertidumbre asociada a la calibración del termómetro patrón:** Se calcula a partir de los datos que proporciona el certificado del termómetro patrón. La incertidumbre expandida (generalmente para el 95% de confiabilidad) con un valor del factor de cobertura usado habitualmente $k_p=2$. A continuación, la ecuación 6 ilustra el cálculo a realizar:

$$U_{cp} = \frac{U_{cp}}{k_p} = \frac{U_{cp}}{2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos medidores de masa

Para el caso de los dispositivos medidores de masa como balanzas y básculas se realizan cálculos diferentes con respecto a los realizados para medidores de temperatura debido a que la principal diferencia entre estos procesos es que las balanzas y básculas se calibran implementando masas patrón con un valor definido y no un dispositivo patrón como en el caso de los termómetros y termohigrómetros (Ingeniería, 2019^a).


Es importante también tener en cuenta ciertos aspectos de los equipos de pesaje que pueden jugar un papel importante a la hora de analizar los datos obtenidos posterior a la calibración y además de esto decidir sobre los resultados que los cálculos de errores e incertidumbre arrojen.

Uno de estos aspectos a tener en cuenta es la clasificación a la que estos dispositivos está sujeta, esta se muestra en la tabla 22 a continuación:

Tabla 22. Clasificación de dispositivos de pesaje de acuerdo a la escala de verificación.

Clase de Exactitud	Escala de Verificación	No. De escalones de Verificación	Carga Mínima
Especial I	$0,0001g \leq e$	50000	100e
Fina II	$0,0001g \leq e \leq 0,05g$ $0,1 \leq e$	100 5000	20e 50e
Media III	$0,1g \leq e \leq 2g$	100 500	20e 50e
Ordinaria III	$5g \leq e$	100	10e

(Ingeniería, 2019a).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	89 de 105

Donde e , corresponde a la escala de verificación que es un valor expresado en unidades de masa y se utiliza para la clasificación y verificación de un instrumento de pesaje (ICONTEC, 2014).

De acuerdo a lo anterior, entonces se continuará con el cálculo de incertidumbres indiferentemente del dispositivo medidor de masa que se trate. Las fuentes de incertidumbre a tener en cuenta serán las siguientes:

- Incertidumbre asociada a repetibilidad.
- Incertidumbre en el valor de las masas patrón usadas para la calibración, la cual se obtiene de sus correspondientes certificados de calibración.
- Incertidumbre debida a la estabilidad de los patrones utilizados.

El proceso implementado para la obtención de la incertidumbre de medición que se reporta consiste en multiplicar la incertidumbre combinada por el factor de cobertura $k=2$, con el cual se consigue un nivel de confianza de aproximadamente el 95% (Ingeniería, 2019a).

La incertidumbre asociada a la repetibilidad puede ser calculada teniendo en cuenta inicialmente la media de las mediciones realizadas en el proceso de calibración, para posteriormente determinar la desviación estándar de dichos valores. Después de lo anterior, puede implementarse entonces la ecuación 7 anteriormente descrita, y que se muestra a continuación:

$$U_{rep} = \frac{\max(S_{xi}, S_{xs})}{\sqrt{5}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

U_{rep} , es la incertidumbre asociada a repetibilidad.

S_{xi} , es la desviación estándar de las mediciones del dispositivo a calibrar en cercanas a su límite inferior.

S_{xs} , es la desviación estándar de las mediciones del dispositivo a calibrar en cercanas a su límite superior.

La incertidumbre asociada al valor de las masas patrón puede ser obtenida de la siguiente tabla 23, la cual es una porción de una tabla estandarizada, teniendo en cuenta que específicamente aplica para valores de masa relativamente pequeños:


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	90 de 105

Tabla 23. Valores de error e incertidumbre para masas patrón.

INCERTIDUMBRE MASAS PATRON				
VALOR NOMINAL	ERROR MEDIDO	INCERTUDUMBRE	VALOR REAL	ERROR MAXIMO PERMITIDO
G	mg	mg	g	mg
0.001	0.0004	0.00200	0.0010004	0.006
0.002	0.0034	0.00200	0.0020034	0.006
0.002	0.0037	0.00200	0.0020037	0.006
0.005	0.0022	0.00200	0.0050022	0.006
0.01	0.0033	0.00270	0.0100033	0.008
0.02	0.0047	0.00330	0.0200047	0.01
0.02	0.0016	0.00330	0.0200016	0.01
0.05	0.039	0.00400	0.0500390	0.012
0.1	0.0033	0.00530	0.1000033	0.016
0.2	0.0088	0.00670	0.2000088	0.02
0.2	0.0078	0.00670	0.2000078	0.02
0.5	0.0062	0.00830	0.5000062	0.025
1	-0.001	0.01000	0.9999990	0.03
2	0.011	0.01300	2.0000110	0.04
2	0.013	0.01300	2.0000130	0.04
5	-0.004	0.01700	4.9999960	0.05
10	0.015	0.02000	10.0000150	0.06
20	0.016	0.02700	20.0000160	0.08
20	0.03	0.02700	20.0000300	0.08
50	0.056	0.03300	50.0000560	0.1
100	-0.107	0.05300	99.9998930	0.16
200	0.11	0.10000	200.0001100	0.3
200	0.16	0.10000	200.0001600	0.3


(Ingeniería, 2020a)

Cabe destacar que para tener claridad y realizar interpretaciones claras de los resultados obtenidos en los procesos de calibración, estos deben entender de la siguiente manera:

Masa real= Indicación + Error ± Incertidumbre

Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos con sensores electroquímicos

La metodología para llevar a cabo la realización de los correspondientes cálculos de incertidumbre y error para los dispositivos pertenecientes a la magnitud electroquímica se muestra a continuación.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	91 de 105

Al igual que en el caso de los dispositivos de temperatura, se realiza el cálculo de incertidumbre expandida por medio de la ecuación 3, en este caso, se implementa la ecuación 8 como se muestra a continuación. (Ingeniería, 2013).

$$U_e = 2 * \sqrt{S_p^2 + S_x^2 + 0,084 * (r_p^2 + r_x^2) + 0,25 * U_p^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

U_e , es la incertidumbre combinada típica.

S_p , es la desviación estándar del pHmetro patrón.

S_x , es la desviación estándar del dispositivo a calibrar.

r_p , es la resolución del pHmetro patrón.

r_x , es la resolución del dispositivo a calibrar.

U_p , es la incertidumbre asociada a la calibración del pHmetro patrón.


Cabe destacar que las medidas realizadas con el pHmetro, tienen las siguientes fuentes de incertidumbre (U):

- Incertidumbre asociada a la dispersión de las lecturas S_p y S_x :** Se calcula a partir de la desviación típica de 5 medidas repetidas (Ingeniería, 2013).
- Incertidumbre asociada a la resolución (U_t):** La resolución del pHmetro patrón (r_p) y la del pHmetro a calibrar (r_x) ocasionan errores aleatorios de redondeo. La amplitud de la distribución de posibles errores es igual a la resolución y, en ese intervalo, cualquier valor tiene las mismas probabilidades de producirse (distribución rectangular o uniforme). En este tipo de distribución, la desviación típica es igual a la amplitud de la distribución dividida por la raíz cuadrada de 12 (Ingeniería, 2013).
- Incertidumbre asociada a la resolución del pHmetro patrón:** La cual se calcula por medio de la ecuación 9, que se ilustra a continuación:

$$U_{r_p} = \frac{r_p}{\sqrt{12}} = 0.29r_p \quad \text{Ecuación 9}$$

- Incertidumbre asociada a la resolución del pHmetro a calibrar:** La cual puede calcularse utilizando la ecuación 10, como sigue:

$$U_{r_x} = \frac{r_x}{\sqrt{12}} = 0.29r_x \quad \text{Ecuación 10}$$

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	92 de 105

- e) Incertidumbre asociada a la calibración del pHmetro patrón:** Esta incertidumbre se calcula a partir de los datos que proporciona el certificado del pHmetro patrón. La incertidumbre expandida (generalmente para el 95% de confiabilidad).

Cálculos de incertidumbre y error para dispositivos pertenecientes a la magnitud de óptica

Los cálculos de incertidumbre y error a realizar posteriores a la calibración de equipos pertenecientes a la magnitud de óptica involucran principalmente tres variables, las cuales se muestran en la siguiente función, que se ilustra por medio de la ecuación 11:

$$e = f(s, re, p) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

e, es el error o diferencia de la medición

s, es la desviación estándar de la prueba de repetibilidad.

re, es la resolución del instrumento.

p, es la incertidumbre del certificado del material de referencia (MRC).

De acuerdo con lo anterior entonces se debe tener en cuenta que para la determinación de la incertidumbre se deben tomar en cuenta al menos la repetibilidad de las lecturas, la resolución del instrumento y el certificado del material de referencia (Ingeniería, 2020b).

Luego de conocer los principales factores a tener en cuenta a la hora de realizar los correspondientes cálculos, se establece la ecuación 12, que describe el proceso de medición y determinación de error, la cual se muestra a continuación:

$$e = (\bar{L}_i - L_r) \quad \text{Ecuación 12}$$


Donde:

e, es el error o la diferencia de medición.

\bar{L}_i , es el promedio de las lecturas del instrumento.

L_r , es el valor de referencia o patrón.

- a) Evaluación de la incertidumbre combinada:** Se establece la ecuación 13 para la estimación de la incertidumbre combinada del mensurando $u_c(e)$ con base a la relación matemática y contribuciones definidas; y a la ley de propagación de los

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	93 de 105

errores. En este caso no existe correlación entre las variables por lo que la ecuación queda como sigue:

$$u_c(e) = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial e}{\partial s}\right) * u(s)\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial e}{\partial re}\right) * u(re)\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial e}{\partial p}\right) * u(p)\right]^2} \quad \text{Ecuación 13}$$

Como los parámetros que contribuyen a la incertidumbre de la medición están en las mismas unidades y son independientes entre sí, los coeficientes de sensibilidad (los términos derivativos) resultan igual a 1, dando lugar a la ecuación 14.

$$u_c(e) = \sqrt{u(s)^2 + u(re)^2 + u(p)^2} \quad \text{Ecuación 14}$$

- b) Estimación de la incertidumbre asociada a cada variable:** Para la estimación de la incertidumbre asociada a la prueba de repetibilidad se utiliza la evaluación de la incertidumbre tipo A. en este caso se efectúan n mediciones y los grados de libertad a considerar son (n-1). La incertidumbre se evalúa por medio de la ecuación 15, que se muestra a continuación:

$$u_s = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde,

s, es la desviación estándar estimada para la prueba de repetibilidad.


n, número de repeticiones.

Para el caso de la resolución del instrumento, se utilizará el método tipo B para la evaluación de la incertidumbre. Se considera en este caso que la probabilidad es la misma para cualquier valor y, por ende, la distribución es de tipo rectangular y la expresión para evaluar dicha incertidumbre es con 100 grados de libertad. La ecuación 16 ilustra entonces el cálculo a realizar para obtener la incertidumbre atribuida a la resolución del instrumento:

$$u_{re} = \frac{re}{\sqrt{12}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde **re**, representa la resolución del instrumento indicador o sujeto de la calibración.

Para la incertidumbre estándar del patrón se utiliza el valor informado en el del certificado del MRC cada punto de medición y teniendo en cuenta el valor de cobertura reportado **k**. por lo tanto la incertidumbre estándar del patrón

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	94 de 105

se evalúa dividiendo su incertidumbre expandida entre el factor de cobertura, como se muestra en la ecuación 17. Los grados de libertad se consideran 200 o lo que reporte el laboratorio que emite el certificado (Ingeniería, 2020b).

$$u_{re} = \frac{U}{k} \quad \text{Ecuación 17}$$


Donde, U es la incertidumbre expandida del material de referencia certificado (MRC). Y k como el factor de cobertura. El factor de cobertura k es un factor que multiplica a la incertidumbre combinada y está íntimamente ligado al número de grados de libertad de la medición y al nivel de confianza con el que se desea informar el resultado. La incertidumbre estándar combinada U_c , representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad ρ de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal. Por lo general, se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre al multiplicarlo por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U , que se define por medio de la ecuación 18. (Ingeniería, 2020b).

$$U = k * u_c \quad \text{Ecuación 18}$$

c) Criterio de error normalizado

Este criterio de aceptación es uno de los más comunes dentro de las comparaciones entre laboratorios. Para este criterio requiere un valor de referencia con su correspondiente incertidumbre y se tienen en cuenta las siguientes suposiciones (Ingeniería, 2020b):

- Los errores de los laboratorios respecto al valor de referencia siguen una curva normal (Ingeniería, 2020b).
- Las incertidumbres de los errores, del valor de referencia y de los valores de referencia están expresados con el mismo factor de cobertura, por lo general, igual a 2 (Ingeniería, 2020b).
- Esto anterior supone que la desviación estándar de la función de distribución de probabilidad de errores es la mitad del denominador del error normalizado (Ingeniería, 2020b).
- La correlación entre los valores de los laboratorios participantes es nula.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	95 de 105

- Con frecuencia esta hipótesis no se cumple, en especial cuando los instrumentos de medida son calibrados con el mismo patrón (Ingeniería, 2020b).

De acuerdo a lo anterior, para calcular el error normalizado se utiliza la ecuación 19, como sigue:

$$E_n = \left(\frac{(x_i - x_{ref})}{\sqrt{U_i^2 - U_{ref}^2}} \right) \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

x_i : Es el estimado del laboratorio.

x_{ref} : Es el valor de referencia.

U_i : Es la incertidumbre expandida del resultado del laboratorio.

U_{ref} : Es la incertidumbre expandida del valor de referencia.


El criterio de aceptación se aplica cuando $E_n \leq 1$.

Errores máximos permitidos en las mediciones

En esta sección se describe la importancia del posterior análisis a los cálculos de incertidumbre y error que se estudiaron anteriormente. La mencionada importancia está en que, de acuerdo a los resultados obtenidos en los procesos y cálculos anteriores, es en este punto de la intervención metrológica donde se decide si el dispositivo de medición aprueba o no la calibración. De acuerdo a la magnitud a la que pertenezca el equipo en intervención, se tienen definidos intervalos de errores máximos permisibles en la norma que regule la intervención metrológica de la mencionada magnitud; intervalos dentro de los cuales deben estar los errores que puedan presentarse a la hora de realizar mediciones, de lo contrario el dispositivo puede calificarse como no conforme al no aprobar el proceso de calibración implementado. Cabe destacar que los errores en la medición de determinado dispositivo podrán corregirse con un proceso de ajuste de medida, esto siempre y cuando el dispositivo lo permita.

Errores máximos permitidos para dispositivos medidores de masa

Para este grupo de dispositivos, los errores máximos permitidos son del orden de magnitud de la división de escala de verificación. Se aplica una capacidad mínima para indicar que es probable que el uso del instrumento por debajo de este valor origine errores relativos importantes.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	96 de 105

Los errores máximos permitidos en la verificación inicial para varios intervalos de masa se muestran a continuación en la tabla 24.

Tabla 24. Errores máximos permitidos para cargas crecientes y decrecientes.

Errores máximos permitidos en verificación inicial	Para cargas, m, expresadas en divisiones de escala de verificación e			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
± 0.5 e	0 ≤ m ≤ 50000	0 ≤ m ≤ 5000	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 50
± 1.0 e	50000 < m ≤ 200000	5000 < m ≤ 20000	500 < m ≤ 2000	50 < m ≤ 200
± 1.5 e	200000 < m	20000 < m ≤ 100000	2000 < m ≤ 10000	200 < m ≤ 1000

(ICONTEC, 2014).

Los errores máximos permitidos en servicio se relacionan íntimamente con los errores máximos permitidos en la verificación inicial, alcanzando a ser estos primeros el doble de los de la verificación inicial. Cabe destacar también que estos errores están sujetos a influencias externas, estos errores deben ser determinados en condiciones de ensayo normales. Cuando se evalúa el efecto de un factor, los demás factores deben mantenerse relativamente constantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, y lo expresado en la NTC 2031 concerniente a los instrumentos de pesaje no automáticos, todas las verificaciones deben encontrarse dentro de los errores máximos permitidos (ICONTEC, 2014).

Errores máximos permitidos para instrumentos volumétricos

Es conocido, que existe una variedad amplia de dispositivos volumétricos específicamente en los canales de dosificación que poseen como también en la forma en que estos dosifican. Existen entonces pipetas de un solo canal o multicanal, manuales o digitales. Teniendo en cuenta lo anterior entonces, las pruebas de conformidad especificados en la norma ISO 8655 para las pipetas que se basan en el sistema de pistón para dosificar (tipo A y D1), los errores máximos permitidos deben estar dentro de los valores que se muestran en la tabla 25 a continuación.

Tabla 25. Errores máximos permitidos para pipetas tipo A y D1.

Valor Nominal μl	Errores Máximos Permitidos Sistemáticos		Errores Máximos Permitidos Aleatorios	
	$\pm \%$	$\pm \mu\text{l a}$	$\pm \%$ b	$\pm \mu\text{l c}$
1	5,0	0,05	5,0	0,05
2	4,0	0,08	2,0	0,04
5	2,5	0,125	1,5	0,075
10	1,2	0,12	0,8	0,08
20	1,0	0,2	0,5	0,1
50	1,0	0,5	0,4	0,2
100	0,8	0,8	0,3 d	0,3 d
200	0,8	1,6	0,3 d	0,6 d
500	0,8	4,0	0,3	1,5
1000	0,8	8,0	0,3	3,0
2000	0,8	16	0,3	6,0
5000	0,8	40	0,3	15,0
10000	0,6	60	0,3	30,0

(Organization International for Standardization ISO, 2002).

a, expresa como la desviación de la media de las medidas del valor nominal o volumen seleccionado.

b, expresado como el coeficiente de variación de diez medidas.

c, definida como la repetibilidad de la variación estándar de diez mediciones.


d, para pipetas de pistón o tipo D1 los errores máximos permitidos podrían ser de $\pm 0,4\%$.

Ahora bien, los errores máximos permitidos para las pipetas de pistón pero que dosifican un volumen fijo (tipo D2) se muestran a continuación por medio de la tabla 26:

Tabla 26. Errores máximos permitidos para pipetas tipo D2.

Valor Nominal μl	E.M.P. Sistemáticos		E.M.P. Aleatorios	
	$\pm \%$	$\pm \mu\text{l a}$	$\pm \%$ b	$\pm \mu\text{l c}$
5	2,5	0,13	1,5	0,08
10	2,0	0,2	1,0	0,1
20	2,0	0,4	0,8	0,16
50	1,4	0,7	0,6	0,3
100	1,5	1,5	0,6	0,6
200	1,5	3,0	0,4	0,8
500	1,2	6,0	0,4	2,0
1000	1,2	12,0	0,4	4,0

(Organization International for Standardization ISO, 2002).

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	98 de 105

a, expresada como la desviación de la media de las medidas del valor nominal o volumen seleccionado.

b, expresado como el coeficiente de variación de diez medidas.

c, definida como la repetibilidad de la variación estándar de diez mediciones.

En el caso de las pipetas cuyo principio de dosificación es multicanal los errores máximos permitidos tanto aleatorios como sistemáticos deben ser iguales al doble de los valores especificados en la tabla donde se especifican los valores para pipetas tipo A y D1 (tabla 25) (Organization International for Standardization ISO, 2002).

Errores máximos permitidos para instrumentos medidores de variables ópticas

Para este particular grupo de dispositivos, existe también una particular forma de evaluar o establecer los errores máximos permitidos en una medición. Esto anterior, directamente dependiente de varios factores propios del funcionamiento de cada dispositivo perteneciente a esta variable. Los factores que se deben tener en cuenta inicialmente al calibrar y posteriormente, a la hora de establecer intervalos de errores máximos permitidos son los siguientes según la norma ASTG4:

Calibración de longitud de onda.

Se contemplan tres opciones que pueden ser aceptables dependiendo del espectrofotómetro en cuestión:

- i. **Solución de holmio en ácido perclórico:** Al usar estas soluciones para la calibración de longitud de onda, se tienen los siguientes valores de absorción máxima que se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Absorción máxima para solución de holmio en ácido perclórico.

Absorción Máxima (nm)	
1 nm	3nm
241.1	241.0
249.9	250.1
278.1	278.1
287.2	287.6
333.5	333.5
345.4	345.6

(Zealand, 2002).

- ii. **Filtros de vidrio de holmio o didimio**

A continuación, en la tabla 28, se puede observar la variación de las longitudes de onda de absorción máxima entre cristales de holmio y didimio.

Tabla 28. Longitud de onda de absorción máxima en cristales del holmio y didimio.

Longitud de onda de absorción Máxima (nm)	
Cristal de Holmio	Cristal de Didimio
241.5 ± 0.2	573.0 ± 3.0
279.4 ± 0.3	586.0 ± 3.0
287.5 ± 0.4	685.0 ± 4.5
333.7 ± 0.6	
360.9 ± 0.8	
418.4 ± 1.1	

(Zealand, 2002).

iii. **Presión de descarga en lámparas de mercurio, cadmio o zinc**

Algunos espectrofotómetros contienen lámparas de estos materiales (Hg, Cd, Zn). En aquellos donde se tiene esta instalación se hace muy conveniente realizar operaciones de medida debido a la calidad de emisión de líneas de luz en sus descargas. A continuación, se muestra en la tabla 29 esta característica para cada tipo de material del que puedan estar construidas estas lámparas.

Tabla 29. Líneas de emisión para varios tipos de material de lámpara.


Elemento	Long. De Onda	Elemento	Long. De Onda
Mercurio*	185.0	Mercurio	435.8
Zinc	213.9	Cadmio	467.8
Cadmio	228.8	Cadmio	480.0
Mercurio	253.7	Mercurio	546.1
Mercurio	365.0	Mercurio	579.1
Mercurio	404.7	Cadmio	643.8

(Zealand, 2002).

Cabe destacar que las lámparas de mercurio tienen ventaja sobre las demás debido a que el espectro de emisión que ofrecen contiene gran cantidad de líneas en un rango considerable de longitudes de onda. También es importante decir que las lámparas de deuterio ofrecen líneas de emisión de 486.0 y 656.1 que también puede ser utilizada tanto para calibraciones como para operaciones de medida, de hecho son ampliamente utilizadas en dispositivos ópticos como luminómetros (Zealand, 2002).

• **Calibración de absorbancia**

Al ser una de las leyes sobre las que se basa el funcionamiento de estos dispositivos, la absorbancia juega un papel crucial no solo en su funcionamiento sino también en su medición. Se sabe que la absorción de luz por parte de la sustancia a analizar irá condicionada por la cantidad de esta misma.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	100 de 105

De acuerdo a lo anterior, se establece que la linealidad y estabilidad de la escala fotométrica debe ser confirmada. Como también la estabilidad en las lecturas deben ser acondicionadas de acuerdo a las variaciones durante el curso de la determinación para no limitar la precisión. Es conveniente que la calibración de absorbancia sea llevada a cabo con niveles de absorbancia y longitudes de onda de uso común en el laboratorio (Zealand, 2002).

Es conveniente añadir también que, de acuerdo a las longitudes de onda y niveles de absorbancia discutidos, se tienen materiales de preferencia con el fin de garantizar lo descrito con anterioridad. Estos son:


a) Región Espectro Visible:

- Filtros de cristal de densidad neutra, específicamente ajustados para a una longitud de onda de 546 nm, esto debido a su larga duración (Zealand, 2002).
- Reactivo analítico de cubierta de sulfato en 1% de ácido sulfúrico, los cuales pueden ser usados para verificar la linealidad de las escalas de absorbancia. Absorbancias en el intervalo de 600 nm a 650 nm son comúnmente usadas para examinar el límite inferior de las escalas de absorbancia (Zealand, 2002).

b) Región Ultravioleta

- Reactivos analíticos de dicromato de potasio en 5×10^{-3} mol.L-1. En rangos pequeños de concentración estas soluciones obedecen la ley de Beer-Lambert y por lo tanto pueden ser utilizadas para verificar la linealidad de la escala de absorbancia de los espectrofotómetros en esta región del espectro (Zealand, 2002).
- Filtros de cuarzo metalizado. Implementado ampliamente en las pruebas rutinarias de laboratorio, debido a la estabilidad en el desempeño de estos (Zealand, 2002).

De acuerdo a lo anterior, es correcto añadir que el establecer rangos de errores máximos permisibles para dispositivos de óptica no es tarea sencilla debido a la cantidad de parámetros a tener en cuenta a la hora de utilizar estos equipos y aún más al llevar a cabo una calibración. El realizar calibraciones en el rango de mediciones más comúnmente usado en un laboratorio (por tener un escenario) es una práctica sencilla pero poderosa para determinar errores en las mediciones de estos dispositivos, por lo que al momento que el operario reporta algún error, se recurre a la revisión del cumplimiento de las anteriores premisas, y de no ser posible un ajuste se procede entonces a declarar la baja del equipo.

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	101 de 105


CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Posterior a la descripción de actividades e intervenciones de servicio técnico y metrología es pertinente establecer conclusiones y recomendaciones basadas en las mencionadas operaciones realizadas. Es importante dejar claro que inicialmente en las políticas de prestación de servicios y sistemas de gestión de operaciones, las actividades de servicio técnico, más específicamente mantenimientos ya sea preventivos o correctivos pueden diferir en su conceptualización, lo cual debe estar siempre especificado a la hora de autorizar y dar inicio a intervenciones metrológicas y servicio técnico a fin de llevar a cabo la ejecución de un plan de aseguramiento metrológico en las instalaciones de cualquier planta o industria.

Centrando la atención en las intervenciones de servicio técnico, es clave tener en cuenta que para la realización de estas se tienen en cuenta varios aspectos que pueden incidir en la realización de las mismas. Como ya se ha podido comentar con anterioridad, la adquisición de repuestos y la versión (reciente u obsoleta) del dispositivo a intervenir son los principales puntos a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo estas intervenciones. Al ser un laboratorio de metrología y servicio técnico siempre se deja en claro al cliente estos aspectos mencionados con anterioridad para que generalmente tome la decisión de autorizar o no el servicio, acogiéndose (en caso de autorizar) a las eventualidades que puedan darse a lo largo de la aplicación del servicio.

Es también pertinente mencionar que para la metrología es sumamente importante la realización de distinciones por mínima que sean (generalmente hablando) en la identificación de dispositivos, muestra de esto es la organización detallada de magnitudes que permiten agrupar a su vez a estos mencionados dispositivos teniendo en cuenta la variable que miden como también clasificándolos por medio del principio de funcionamiento bajo el cual estos operan. Todo lo anterior con el fin de ofrecer al operario mayor dominio y conocimiento de los dispositivos a la hora de intervenirlos, además de poder aportar al usuario encargado recomendaciones para optimizar el rendimiento y operación de estos.

Es evidente también que independientemente del tiempo y calidad de operación que pueda desempeñar un dispositivo medidor se hará necesaria en algún momento la intervención de personal capacitado en metrología para garantizar que estos se desenvuelvan de manera óptima a lo largo de un mayor tiempo. Cabe destacar que para un laboratorio de metrología es importante regir sus funciones por la normativa pertinente, teniendo como base la mencionada ISO 17025 a fin de medir las capacidades no solo del personal del laboratorio sino también el alcance y calidad de los servicios que se puedan prestar. A través de estas normas no solo se opta por acreditar el laboratorio u organización encargada de la realización de estas intervenciones, lo cual significaría mayor demanda en el aspecto

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	102 de 105

comercial, sino que también se busca a su vez cumplir a cabalidad otro número significativo de normativas en este caso más específicas y orientadas a la realización de estas intervenciones de acuerdo al tipo de dispositivo a intervenir teniendo en cuenta la variable que estos cuantifiquen.


De acuerdo a lo anterior es casi obvio el hecho de que se debe tener en cuenta que, por tratarse de normativas nacionales y en su mayoría internacionales, estas están bajo constante actualización en búsqueda del mejoramiento en los procesos realizados en cualquier área de la vasta industria que hoy en día se conoce.

Resaltar también la importancia de los cálculos estadísticos realizados a la hora de analizar los resultados obtenidos en los procesos de calibración, debido a que estos permiten inicialmente definir si el dispositivo en cuestión está o no dentro de los intervalos de errores máximos permitidos de medición. Se resalta la importancia de cálculos de incertidumbre porque como es sabido, todo proceso de medición está sujeto a incertidumbres en sus resultados, lo cual es directamente dependiente de factores como lo son la experticia del operario y la incertidumbre misma del dispositivo de medición por tomar algunos ejemplos.

Los mencionados cálculos permiten también dar una aproximación de cuan confiable puede ser la medida que los dispositivos en cuestión ofrecen y de acuerdo a esto posteriormente se deben tomar decisiones acerca del área donde estos estarán operando teniendo en cuenta la criticidad del proceso que en otras palabras expresa el grado de exactitud necesitada en los reportes de mediciones.


Es importante también mencionar la importancia de tener en cuenta las condiciones ambientales en las que se realiza cualquier intervención ya sea de tipo metrológica o de servicio técnico. Teniendo en cuenta específicamente las intervenciones metrológicas se debe tener especial cuidado ya que la mayor parte de estas involucra procesos o componentes susceptibles a factores ambientales como temperatura, exposición a la luz, humedad relativa, entre otros. Ejemplo de estas operaciones y su respectiva calibración son la medida de cloro libre en agua, medida de pulcritud con luminometría, medida de concentración de sacarosa con refractómetro (susceptibles a la luz).

De acuerdo a lo experimentado se puede afirmar que el tener en cuenta o no la incidencia de estos factores determinará la calidad de las mediciones realizadas y consecuentemente también la correspondiente calidad y confiabilidad de los datos a analizar mediante cálculos de error e incertidumbre.


	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	103 de 105

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- » *About ILAC International Laboratory Accreditation Cooperation*. (2020).
<https://ilac.org/about-ilac/>
- ADOX. (2010). *Fundamentos de la Luminometría*. <http://www.adox-sa.com.ar/docs/articulos/luminometria.pdf>
- BIPM - worldwide metrology. (2020). <https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/>
- Callejas, L. (2017). *Ondas Electromagnéticas: EL ESPECTRÓGRAFO*.
<http://ondaselectromagneticassotomayor.blogspot.com/p/el-espectrografo.html>
- Company, H. (2020). *Conductividad Electrolítica*. https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf
- Equipos de laboratorio. (2012). *ESPECTROFOTÓMETRO: Tipos De Espectrofotómetros*.
<http://usoespectrofotometro.blogspot.com/p/explicacion-acerca-del-espectrofotometro.html>
- Fernández, G. (2018). *Estructura de un espectrofotómetro*.
<https://www.quimicaorganica.org/espectroscopia-visible-ultravioleta/731-estructura-espectrofotometro.html>
- González, M. (2012). *Instrumentos para la medida práctica del color* (pp. 1–24).
https://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo05.pdf
- HANNA Instruments. (2014). *HI 701 Colorímetro para Cloro Libre | HANNA Instruments Colombia*. <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-701-colorimetro-para-cloro-libre>
- Herrera, T. (2010). *Ley De Bouguer-Lambert-Beer*. 3.
<https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2014/05/L.-Ley-de-Bouguer-Lambert-Beer-0.pdf>
- Hygiene. (2020). *www.hygiene.com Aprende más*. www.hygiene.com
- ICONTEC. (2014). *Ntc 2031*. 571, 1–178.
- ICONTEC. (2020). *Quiénes somos - Icontec*. <https://www.icontec.org/quienes-somos/>
- Ingeniería, I. (2013). SGC-PDT10 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS CON SENSORES ELECTROQUÍMICOS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ingeniería, I. (2019a). SGC-PDT07 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS PARA LA DETERMINACIÓN DE MASA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	104 de 105

- Ingeniería, I. (2019b). SGC-PDT09 CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS POR COMPARACIÓN DIRECTA CON TERMOPARES. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ingeniería, I. (2020a). CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS SGC-PDT07-F01 VIGENCIA GI-3336 TIPO CARGO NIT Coordinadora de Calidad 2 . INFORMACIÓN DEL INSTRUMENTO INSTRUMENTO / EQUIPO FABRICANTE / MARCA MODELO CÓDIGO INTERNO UBICACIÓN / PROCESO MAGNITUD ICM NR MASA BALANZA DIG. 7–9.
- Ingeniería, I. (2020b). SGC-PDT13 CALIBRACIÓN DE ESPECTROFOTÓMETROS Y LUMINÓMETROS (FOTODIODO DE ESTADO SÓLIDO).
- Instruments, C. (2012). *La medida de conductividad. Un poco de teoría*. 7. <http://www.crisoninstruments.com/>
- ISO - ISO/IEC 17025:2005 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. (n.d.). Retrieved February 24, 2020, from <https://www.iso.org/standard/39883.html>
- ISOTools. (2019). *ISO/IEC 17025 - Software ISO*. <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-iec-17025/>
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2012). International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). *International Organization for Standardization Geneva ISBN, 3(Vim)*, 104. [https://doi.org/10.1016/0263-2241\(85\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0263-2241(85)90006-5)
- Laboratorio, M. de. (2020). *Colorímetro - ¿Qué es, Cómo funciona y Para qué sirve? 2020*. <https://materialeslaboratorio.com/colorimetro/>
- Laboratorio, E. y. (2018). *FLOCULADOR*. https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3452
- Légale, O. I. de M. (2020). *What is the OIML? — English*. <https://www.oiml.org/en/about/about-oiml>
- Martinez, I. (1992). *Metrologia Termica*. 1–627.
- Metrología, I. N. de. (2019). *Instituto Nacional de Metrología - INM*. <http://www.inm.gov.co/servicios/asistencia-tecnica/>
- Milkotronic. (2012). Lactoscan la. In *Manual de Operaciones* (pp. 1–77).
- Minolta, K. (2020). *Espectrofotometría de Absorción vs. Rango de Espectrofotometría Ultravioleta Visible*. <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2019/04/espectrofotometria-de-absorcion-vs->

	Informe de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica	Código	00
		Página	105 de 105

rango-de-espectrofotometria-ultravioleta-visible/

- Organization International for Standardization ISO. (2002). *International Standard Iso 8655-2. 2002*, 18. http://www.sartorius.co.rs/contentFiles/files/ISO_8655-2_2002.pdf
- Practice, S. (2010). Standard Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus 1. *Organization, i*(Reapproved 2007), 1–8. <https://doi.org/10.1520/E0542-01R07.2>
- Químico, T.-L. (2020). *Refractómetro » TP - Laboratorio Químico*. <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/refractometro.html>
- SA, I. C. (2019). *Norma ISO 17025 Características Técnicas - ICESA*. <https://www.icsa.es/laboratorios-analiticos/consultoria-de-laboratorios/norma-iso-17025>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). *Principios de análisis fundamental*.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, J., & Crouch, S. R. (2015). Preparación de disoluciones estándar básicas. In *Fundamentos de química analítica*.
- Técnicos, m&m instrumentos. (2019). *QUÉ ES Y USOS DEL ESPECTROFOTOMETRO*. https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1311
- Zealand, I. accreditation N. (2002). Technical guide. *ASTG4 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE ESPECTROFOTÓMETROS UV-VIS*, 49(6), 93–100. <https://doi.org/10.1108/acmm.2002.12849fab.014>