

**APOYO Y DINAMIZACIÓN EN EL PROCESO DE
IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA EN
ICOBANDAS S.A. COMO REQUISITO PARA OBTENER LA
CERTIFICACIÓN ISO 9000**

FRANCISCO FERNANDO ESTRADA MARTÍNEZ
LUIS ARCESIO QUINTERO PIZO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYAN
2004

**APOYO Y DINAMIZACIÓN EN EL PROCESO DE
IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA EN
ICOBANDAS S.A. COMO REQUISITO PARA OBTENER LA
CERTIFICACIÓN ISO 9000**

FRANCISCO FERNANDO ESTRADA MARTÍNEZ

LUIS ARCESIO QUINTERO PIZO

Trabajo de grado en modalidad de Pasantía como requisito parcial
para optar al título de Ingenieros Físicos

Director

Msc. Ing. GERMÁN ARTURO BACCA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYAN
2004

Nota de Aceptación

Msc. Ing. Germán Arturo Bacca
Director

Msc. Ing. Carlos Felipe Rengifo
Jurado

Ing. Diego Alberto Bravo
Jurado

Fecha de sustentación: Popayán, 2 de Noviembre de 2004

*A nuestros Padres, Hermanos y Amigos
por todo su apoyo y dedicación*

Contenido

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. NORMAS ISO9000:2000	18
1.1. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN	18
2. MEDICIÓN DE MASA	20
3. MEDICIÓN DE DUREZA	22
4. MEDICIONES LONGITUDINALES	24
4.1. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LONGITUD	26
4.1.1. Calibracion de Pie de Rey.	26
4.1.2. Calibracion de Cintas Métricas.	28
4.1.3. Calibracion Contadores Mecánicos de Metros.	28
5. MEDICIÓN DE PRESIÓN	29
5.1. ELEMENTOS MECÁNICOS	30
5.2. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	31
5.3. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PRESIÓN	31
6. MEDICIÓN DE TEMPERATURA	33
6.1. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA	35
7. CONCEPTOS BÁSICOS	38
7.1. CONVECCIÓN	38
7.2. EXPANSIÓN TÉRMICA	39
7.3. CONTROLADORES PID	39
7.3.1. Acción de control proporcional.	40
7.3.2. Acción de control integral.	41
7.3.3. Acción de control proporcional-integral.	41
7.3.4. Acción de control proporcional-derivativa.	42
7.3.5. Acción de control proporcional-integral-derivativa.	43

8. TRABAJO EN LA PASANTÍA	44
8.1. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN	44
8.2. LABORATORIO DE METROLOGÍA	45
8.3. DOCUMENTOS	47
8.4. CALCULO DE LOS ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS	49
8.5. SELECCIÓN DE EQUIPO DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA	50
8.6. MASA	51
8.7. DUREZA	52
8.8. LONGITUD	54
8.8.1. Pie de rey.	55
8.8.2. Cintas Métricas.	56
8.8.3. Cuentamétros.	58
8.9. PRESIÓN	64
8.10. TEMPERATURA	67
8.10.1. Cálculo del tiempo de elevación de temperatura.	74
8.10.2. Resultados experimentales del Baño Térmico.	77
9. CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	84

Lista de Figuras

2.1. Pesas patrón	21
3.1. Durómetro Shore A	22
4.1. Contador mecánico de metros	25
4.2. Funcionamiento del contador mecánico de metros	26
4.3. Bloques patrón	27
4.4. Banco de prueba de longitudes digital	28
5.1. Comparadores de manómetros a) De peso muerto b) De pistón	32
6.1. Calibrador de bloque metálico	36
6.2. Baño térmico	36
8.1. Comparación entre el error máximo permitido y la tolerancia en la medida	49
8.2. Procedimiento para calcular la capacidad de los <i>Cuentametros</i>	62
8.3. Diseño del Tanque	69
8.4. Curvas de calentamiento del baño térmico	79
8.5. Curva de enfriamiento del baño térmico	80

Lista de Fotografías

8.1. Laboratorio de Metrología de Icobandas S.A	46
8.2. Pesas patrón	52
8.3. Bloques patrón para dureza	53
8.4. Bloques patrón de longitud	55
8.5. Cinta métrica patrón	57
8.6. Banco de comparación de cintas métricas	57
8.7. Micrómetro para verificación de diámetro de ruedas de contadores mecánicos	59
8.8. Verificador de cuentamétros	60
8.9. Transductor de presión	65
8.10. Comparador de manómetros y manómetros patrón	65
8.11. Tanque elaborado	69
8.12. Controlador de temperatura digital	71
8.13. Sonda de resistencia	71
8.14. Motor neumático, helice y válvula de estrangulamiento	72
8.15. Intercambiador de calor y recubrimiento externo	73
8.16. Termometro bimetalico patrón	73
8.17. Baño térmico	74
8.18. Prueba de estabilidad	78

Lista de Tablas

4.1. Clasificación de bloques patrón según su uso	27
---	----

GLOSARIO

AUDITORIA: es un examen metódico y objetivo sobre evidencias tangibles. Solo hay dos tipos de auditorias en la norma ISO 9000: las internas (realizadas por personal de la propia empresa), y las externas (realizadas por personal ajeno a la empresa).

CALIBRACIÓN: conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones.

CLASE DE EXACTITUD: numéricamente equivale al mayor error de linealidad o de histéresis que se encuentra en un manómetro después de calibrado, donde el valor de referencia corresponde al rango del manómetro, se da como un porcentaje.

CONFIRMACIÓN METROLÓGICA: conjunto de operaciones necesarias para asegurar que el equipo de medición cumple con los requisitos para su uso previsto.

DIVISIÓN DE LA ESCALA: parte de la escala, de un instrumento de medida, comprendida entre dos marcas sucesivas.

ENSAYO (PRUEBA): determinación de una o más características de acuerdo con un procedimiento.

EQUIPO DE MEDICIÓN: instrumento de medición, software, patrón de medición, material de referencia, o equipos auxiliares o combinación de ellos, necesarios para llevar un proceso de medición.

ERROR (DE MEDICIÓN): resultado de una medida menos un valor verdadero de la medida. Puesto que el valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero.

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS O LÍMITES DE ERROR PERMITIDOS (DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN): valores extremos de un error permitido (tolerado) dado por especificaciones, regulaciones, normas, etc. para las medidas de un instrumento determinado.

ESCALA (DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN): conjunto ordenado de marcas, con una numeración asociada, que forma parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.

ESPECIFICACIÓN: documento que especifica requisitos.

INDICACIÓN (DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN): valor de una magnitud proporcionada por un instrumento de medición.

INSTRUCTIVO: documento que define en forma detallada como debe realizarse una actividad descrita en un procedimiento.

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones sólo o en conjunto con dispositivos complementarios.

MAGNITUD (MEDIBLE): atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

MEDICIÓN: conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

MEDIDA MATERIALIZADA: medida destinada a reproducir o suministrar, de una manera permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

MENSURADO (MEDIDA): magnitud particular sujeta a medición.

MÉTODO DE MEDICIÓN: secuencia lógica de operaciones, descritas de manera genérica, utilizada en la ejecución de las mediciones.

METROLOGÍA: ciencia de la medición. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones; cualquiera que sea su incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y tecnología que ocurra.

NORMA: la norma es la misma solución que se adopta para resolver un problema repetitivo, es una referencia respecto a la cual se juzgará un producto o una función y, en esencia, es el resultado de una elección colectiva y razonada.

NORMALIZACIÓN: la normalización es la actividad que fija las bases para el presente y el futuro, esto con el propósito de establecer un orden para el beneficio para el concurso de todos lo interesados. En resumen, la normalización es, el proceso de elaboración y aplicación de normas; son herramientas de organización y dirección. La Asociación Estadounidense para Pruebas de Materiales, ASTM, define la normalización como el proceso de formular y aplicar reglas para una aproximación ordenada a una actividad específica para el beneficio de todos los involucrados.

PATRÓN (DE MEDICIÓN): medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar y reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

PATRÓN DE TRABAJO: patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

PROCEDIMIENTO: forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso.

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN: conjunto de operaciones, descrito específicamente, para realizar mediciones de acuerdo a un método determinado. Un

procedimiento de medición es usualmente descrito con ese nombre, con suficiente detalle que permite al operador efectuar una medición sin información adicional.

RANGO DEL EQUIPO: Expresa la capacidad mínima y máxima de medida de un equipo.

RANGO DE MEDIDA Ó DE MEDICIÓN: rango de operación de un equipo ó instrumento en el lugar donde se realiza una medición.

REQUISITO: necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

RESOLUCIÓN (DE UN DISPOSITIVO INDICADOR): la diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.

RESULTADO DE UNA MEDICIÓN: valor atribuido a un mensurado, obtenido por medición.

REPETIBILIDAD: proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurado bajo las mismas condiciones de medición.

REPRODUCTIBILIDAD: proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurado bajo condiciones de medición que cambian.

TOLERANCIA (DE LA MEDIDA): rango especificado por la empresa que se da a la medida de una variable física la cual afecta directamente la calidad del producto

TRANSDUCTOR DE MEDICIÓN: dispositivo que proporciona una magnitud de salida con una determinada relación a la magnitud de entrada.

TRAZABILIDAD: propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas incertidumbres determinadas.

UNIDAD (DE MEDIDA): magnitud particular, definida y adoptada por convención, con la cuál se comparan las otras magnitudes de la misma naturaleza para expresar cuantitativamente su relación con esa magnitud.

VALOR (DE UNA MAGNITUD): expresión de una magnitud cuantitativa particular, expresada generalmente en la forma de una unidad de medición multiplicada por un número.

VALOR VERDADERO (DE UNA MAGNITUD): valor consistente con la definición de una determinada magnitud particular.

VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (DE UNA MAGNITUD): valor atribuido a una magnitud particular y aceptado, algunas veces por convención, con un valor que tiene una incertidumbre apropiada para un propósito determinado.

VERIFICACIÓN: confirmación metrológica de rutina, bajo condiciones específicas, que establece la relación entre la magnitud indicada por un instrumento de medición y los valores de referencia dados por patrón trazables a patrones nacionales. La verificación puede ser desarrollada en un laboratorio que esté o no certificado.

RESUMEN

Se presenta un informe detallado del trabajo de grado en la modalidad de pasantía, realizado en Icobandas S. A., denominado “*Apoyo y dinamización en el proceso de implementación del laboratorio de metrología en Icobandas S. A. como requisito para obtener la certificación ISO 9000*”. El presente informe brinda una breve descripción de Icobandas S.A., su proceso productivo, se describe en forma breve la Norma ISO 9000 junto con algunos de sus requisitos relacionados con la temática del trabajo de grado. Posteriormente se describe cada una de las variables físicas que intervienen en el proceso de producción de Icobandas S.A. y los equipos utilizados en la industria para realizar su medida, junto con el equipo necesario para su calibración. Finalmente, se encuentran las actividades desarrolladas en la implementación de un laboratorio de metrología que permite realizar el control de los Equipos de Seguimiento y Medición Críticos en medidas de longitud, masa, presión, temperatura y dureza en el proceso productivo de Icobandas S.A.

INTRODUCCIÓN

Es muy común saber que una de las normas más importantes en el mundo, a nivel empresarial, es la serie de normas ISO 9000. Dichas normas especifican los requisitos para implementar un sistema de gestión de la calidad en una empresa, el cual busca continuamente por medio de los productos y/o los servicios, la satisfacción de los clientes. Para las empresas colombianas es conveniente aplicar esta serie de normas, ya que permite adaptar los productos a las necesidades de los clientes, proyectado a la ampliación de mercados con clientes diversos. En la actualidad, esta situación se vuelve una necesidad, más que una opción, ya que las políticas de apertura del gobierno son una realidad. De esta manera, una empresa que posea la certificación ISO 9000 es una organización competitiva a nivel mundial, que comienza a cumplir con los estándares de calidad y que sobrevive en una sociedad enmarcada en un modelo capitalista.

A nivel nacional, las industrias y las empresas de servicios están comenzando a contemplar dicho estándar como la orientación para gestionar sus organizaciones. A nivel local, el proceso de conocimiento de esta norma está apenas iniciando en las instituciones de educación técnica y profesional y en algunas empresas. Es evidente que el manejo y la implementación de este tipo de normas técnicas tiene una importancia apremiante, ya que permite a las empresas de la región proyectar su imagen y posicionar sus productos a nivel nacional e internacional. En consecuencia, es una excelente oportunidad ejercer como profesional alrededor de esta temática, teniendo un buen manejo de la norma y todo lo que conlleve a su aplicación. Particularmente, un Ingeniero Físico puede ser un actor fundamental en la implementación de la serie de normas ISO 9000 u otro estándar que requieran las empresas nacionales. Una de las empresas regionales que se encuentran en el proceso de certificación de ISO 9000 es Icobandas S.A., una empresa caucana líder en el campo del diseño y fabricación de bandas transportadoras y de transmisión basadas en el caucho y lona.

Con respecto a los requisitos de la norma ISO 9000 [52], en el apartado que concierne a la realización del producto, se encuentra el punto relacionado con el Control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición, donde especifica que la empresa debe establecer procesos para asegurarse que el seguimiento y la medición puedan realizarse de

acuerdo con las especificaciones requeridas. El proceso establecido por Icobandas S.A que asegura este control, es el de Mantenimiento y Metrología en donde se desarrollan las actividades de metrología necesarias para cumplir este requisito. En la empresa, los Dispositivos de Seguimiento y Medición pueden dividirse en dos grupos, dependiendo si afectan o no directamente la calidad de los productos. Se conoce entonces como un Equipo de Seguimiento y Medición Crítico a todo aquello instrumento que sirve para medir, registrar o cuantificar una magnitud que afecte directamente la calidad del producto elaborado. En consecuencia, con este tipo de instrumentos es necesario tener un control exhaustivo para garantizar que su buen funcionamiento se cumple, por lo tanto, es necesario tener un laboratorio donde se puedan realizar verificaciones frecuentes a estos instrumentos. En el caso de Icobandas S.A., se necesitan realizar verificaciones en cinco variables o magnitudes físicas críticas, como son: longitud, masa, presión, temperatura y dureza.

La implementación de un Laboratorio de Metrología es de gran importancia para Icobandas S.A., no solo por ser un medio para cumplir con algunos de los requisitos de la norma ISO 9000, sino porque se mejora la calidad del producto teniendo un sistema de mediciones confiable. Es posible tener un sistema de mediciones confiable logrando que los equipos de medición sean los adecuados, que estén debidamente verificados ó calibrados, con trazabilidad a patrones nacionales e internacionales que les permita garantizar el logro de las características requeridas en sus procesos y productos. De esta manera la empresa garantiza que sus mediciones tienen un buen nivel de precisión y exactitud y están bajo control, lo que permite disminuir los riesgos de falla. Para contar con un sistema de mediciones confiable, la empresa además debe garantizar que el personal encargado de las mediciones en los diferentes procesos y laboratorios está debidamente entrenado, capacitado y calificado.

Con este trabajo en modalidad de pasantía se logró servir de apoyo en el proceso de implementación del Laboratorio de Metrología en Icobandas S.A. para cumplir uno de los requisitos de la norma ISO 9000. Mediante el análisis de características de los Equipos de Seguimiento y Medición Críticos, normas técnicas e información relacionada con la calibración de instrumentos, se seleccionó, diseñó y/o adecuó los equipos necesarios en el Laboratorio de Metrología. Adicionalmente se elaboraron documentos relacionados con metrología, auditables y no auditables, en la norma ISO 9000.

1. NORMAS ISO9000:2000

Entre los objetos de normalización, los productos (materias primas, subproductos y productos terminados) sujetos a normas de calidad han cobrado una gran importancia en la actualidad, debido a una familia de normas internacionales denominada ISO 9000 (9000, 9001, 9002, 9003 y 9004). La aplicación de estas normas en la industria ha hecho necesario certificar los sistemas de calidad de las empresas que así lo desean o a las cuales se lo solicitan los clientes.

1.1. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN

Este es el requisito 7.6 de la norma ISO 9001 [52] que está relacionado con el “*Control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición*” y especifica que “la organización debe determinar los Dispositivos de Seguimiento y Medición necesarios para proporcionar la evidencia de la conformidad del producto con los requisitos determinados”, además, “debe establecer procesos para asegurarse de que el seguimiento y medición puedan realizarse y se realizan de una manera coherente con los requisitos de seguimiento y medición”.

Para asegurar que los Equipos de Seguimiento y Medición funcionan correctamente, la norma especifica que estos deben:

- Calibrarse o verificarse a intervalos especificados o antes de su utilización, comparado con patrones de medición trazables a patrones de medición nacionales o internacionales; cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación.

- Ajustarse o reajustarse según sea necesario.
- Identificarse para poder determinar el estado de calibración.
- Protegerse contra ajustes que pueden invalidar el resultado de la medición.
- Protegerse contra los daños y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

Finalmente, la norma especifica que “la organización debe evaluar y registrar la validez de los resultados de las mediciones anteriores cuando se detecte que el equipo no esta conforme con los requisitos. La organización debe tomar las acciones apropiadas sobre el equipo y sobre cualquier producto afectado. Deben mantenerse registros de los resultados de la calibración y la verificación”.

2. MEDICIÓN DE MASA

Para la medición de masa en la industria se emplean *balanzas* y *básculas*, a parte de su principio de funcionamiento la diferencia entre ellas es su capacidad de medida pues las últimas tienen una gran capacidad mientras que las balanzas se utilizan para mediciones más pequeñas y exactas.

Las *balanzas digitales* generalmente están constituidas por celdas de carga a base de galgas extensiométricas las cuales consisten esencialmente en una celda que contiene una pieza, con elasticidad conocida capaz de soportar la carga sin exceder de su límite de elasticidad. A esta pieza está cementada una galga extensiométrica formada por varias espiras de hilo pegado a un soporte de papel o resina sintética. La tensión o la compresión a que el peso somete a la celda de carga, hace variar la longitud del hilo metálico y modifica por lo tanto la resistencia eléctrica. Se adicionan acondicionadores de señal y microprocesadores para elevar la precisión y compensar efectos de temperatura. Las balanzas se clasifican de acuerdo a su precisión en:

- Clase I: Precisión Especial
- Clase II: Precisión Fina
- Clase III: Precisión Media
- Clase IV: Precisión Ordinaria

Para su calibración se utilizan *pesas patrón* (Figura 2.1) las cuales según la norma NTC 1848 [44] que especifica las características físicas y requisitos metrológicos de las pesas utilizadas para calibración o verificación, se clasifican en:



Figura 2.1. Pesas patrón

- *Pesas clase E1 y E2 (clase especial)* las cuales no tienen cámara de ajuste y están compuestas por una sola pieza, además su material es no magnético con cualidades superiores al acero inoxidable, su superficie tiene un acabado de espejo, no poroso y no se pueden rotular para indicar su valor nominal.
- *Pesas clase F1 y F2 (clase fina)* las cuales pueden tener cámara de ajuste y estar compuestas por varias piezas, además su material es no magnético con cualidades superiores al bronce estirado, su superficie tiene un acabado de espejo, no poroso y se pueden rotular para indicar su valor nominal.
- *Pesas clase M1, M2 y M3 (clase media)* las cuales pueden tener cámara de ajuste y estar compuestas por varias piezas, además su material es bronce o un mejor material en el caso de M1 y en fundición gris para M1 y M2, su superficie no tiene un acabado de espejo, no poroso y se pueden rotular para indicar su valor nominal.

3. MEDICIÓN DE DUREZA

Una definición simple de dureza, es la resistencia de un material a la deformación permanente. Es importante reconocer que la dureza en un ensayo empírico, y por lo tanto la dureza no es una propiedad del material. Por esto que existen diferentes ensayos de dureza que cada uno determina un valor diferente de dureza de un mismo material. En efecto, el ensayo de dureza depende del método y del tipo de material, por lo tanto cada resultado debe tener la referencia del método de ensayo utilizado. Sin embargo, la dureza es ampliamente utilizada para caracterizar materiales y determinar si ellos son los indicados para la aplicación requerida. Pero, esta magnitud que no puede correlacionarse con propiedades o características de los materiales de ensayo.

La dureza de un material es medida con un instrumento llamado *durómetro* (un tipo de durómetro se muestra en la Figura 3.1). El valor de dureza es determinado por la penetración de un elemento deformador en la muestra. Los valores de dureza son determinados midiendo la profundidad de penetración del elemento deformador o el tamaño resultante del elemento deformador. Todas las escalas están dispuestas de tal forma que los valores de dureza mostrados en el instrumento, se incrementen a medida que la dureza del material se vuelva más grande. Las escalas (unidades) más reconocidas para medir dureza son las siguientes [53]:

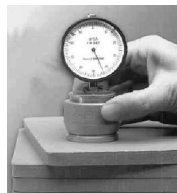


Figura 3.1. Durómetro Shore A

- Brinell - HB
- Knoop - HK
- Rockwell - HR

- Shore - HS
- Vickers - HV

Cada una de estas escalas se relaciona con el tipo de material del elemento deformador presionado en el material, el tipo del material de ensayo, la fuerza utilizada, definida en el procedimiento de ensayo, y el tiempo del ensayo. La dureza expresada en Shore, esencialmente cuenta con dos escalas, Shore A y Shore D y son utilizadas para medir dureza de caucho (elastómeros) y en plásticos blandos. La escala en Shore A es utilizada para cauchos blandos y la escala Shore D para materiales duros. Para hacer cualquier medida, se debe tomar en cuenta un procedimiento adecuado, el cual indique las consideraciones pertinentes para hacer la medida. Comúnmente, se utiliza el estándar ASTM D2240 [72] el cuál especifica las condiciones ambientales, el tamaño y forma de la muestra de ensayo, la fuerza y el tiempo recomendado para la medida, entre otras condiciones.

Para la calibración del durómetro se utilizan *bloques patrón*, dependiendo de la unidad que se utilice. Estos bloques tienen una dureza conocida, de tal modo que la calibración se realiza mediante la comparación con el valor obtenido en la medida del durómetro y el valor conocido de dureza del bloque.

4. MEDICIONES LONGITUDINALES

Las mediciones longitudinales son unas de las medidas más importantes y comunes que se efectúan en la vida cotidiana y en los procesos industriales. Los instrumentos de mediciones longitudinales toman la medida de una magnitud comparándola con la unidad, para determinar cuántas veces ésta se halla contenida en aquella.

La medición se puede dividir en directa (cuando el valor de la medida se obtiene directamente de las divisiones de los instrumentos) o indirecta (cuando para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia). Algunos de los instrumentos comúnmente utilizados son las cintas métricas (*flexómetros* y *decámetros*), el *pie de rey* y los *contadores mecánicos*, los cuales son utilizados dependiendo de la longitud que se desee medir.

El *pie de rey*, también llamado *calibrador*, es un instrumento el cual permite realizar tres tipos de medidas: de longitud, externas, internas y de profundidad, basado en el principio de Vernier el cual se fundamenta en una escala auxiliar que se desliza a largo de una escala principal (graduada en milímetros y pulgadas), para permitir en ésta, lecturas en fracciones exactas de la mínima división. Generalmente se utiliza para medidas cortas, hasta de un metro aproximadamente.

Las *cintas métricas* consisten en una serie de graduaciones uniformemente espaciadas que representan submúltiplos de la unidad de longitud, valores numéricos convenientes se encuentran marcados sobre la escala cada determinado número de graduaciones para facilitar la lectura. Generalmente están construidas en acero (*flexómetros*) o en fibra de vidrio (*decámetros*) y con estos instrumentos comúnmente se realizan medidas de longitud de hasta treinta metros en el caso de los decámetros y de cinco metros en los flexómetros.

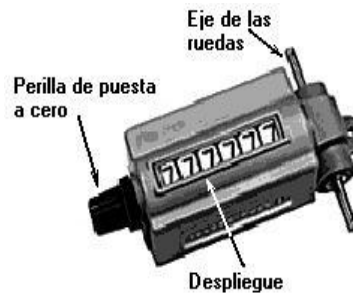


Figura 4.1. Contador mecánico de metros

El *contador mecánico de metros* (*cuentamétros*) (Figura 4.1) es un instrumento que permite medir longitud de piezas en movimiento, que generen rotación en sus ruedas. Dichas ruedas tienen un tamaño específico y están sujetas a un eje de rotación en el instrumento, el cual, internamente está acoplado a un sistema mecánico que transmite el movimiento al despliegue donde se observa la medida.

El fabricante de los contadores mecánicos especifica el tamaño de las ruedas, el cuál está calculado de tal manera, que la medida en el despliegue se visualice en metros. Además, la superficie de la rueda, que hace contacto con las piezas en movimiento, tiene un grafilado que permite una mejor adherencia, la cual impide deslizamientos entre sí.

Puede verse en la Figura 4.2 que el principio de funcionamiento del cuentamétros se basa en la rotación de sus ruedas, de tamaño conocido, sobre la pieza a medir. A medida que se mueve la pieza, la rueda cubre la distancia con su perímetro con la cantidad de vueltas que representen la longitud de la pieza que ha pasado. El desplazamiento es acumulado en el sistema mecánico y se visualiza en el despliegue. De esta manera, el desplazamiento depende estrechamente del tamaño de la rueda, representado por el

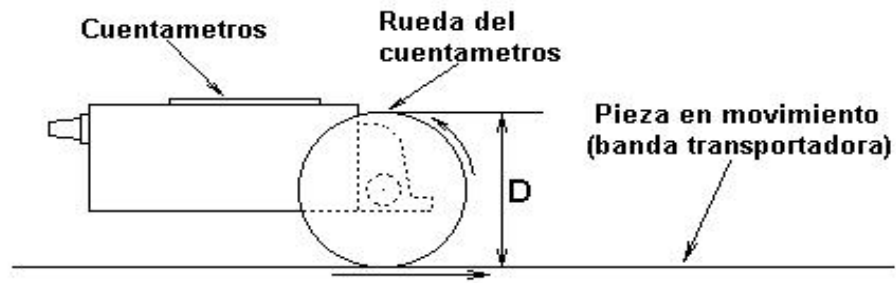


Figura 4.2. Funcionamiento del contador mecánico de metros

fabricante mediante el diámetro (D).

4.1. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LONGITUD

Debido a que los instrumentos utilizados en mediciones longitudinales son generalmente de medición directa, para su calibración se debe realizar una comparación con una magnitud materializada o con un instrumento del mismo tipo que tenga una división de escala mucho más precisa que la del instrumento a calibrar.

4.1.1. Calibración de Pie de Rey.

Para la calibración del pie de rey se utilizan *bloques patrón* (Figura 4.3) los cuales son bloques prismáticos de un acero o material cerámico especial, con dos caras opuestas perfectamente planas y paralelas que conforman la superficie de medida. El espesor del bloque es constante en cualquier punto de la superficie de medida, cuya dimensión nominal viene grabada en una de sus caras. Estos vienen en juegos de varios bloques, con diferentes espesores; para lograr otras medidas a parte de las propias de cada bloque, los bloques se acoplan entre sí mediante el desplazamiento de la capa de aire entre las

superficies de medida que los une, este proceso se denomina forzado. Una vez que esto se logra, la presión atmosférica mantiene unidos a todos los bloques. En caso de existir una capa de aire entre los bloques está afectara considerablemente la exactitud de la medida.



Figura 4.3. Bloques patrón

Los requerimientos para los *bloques patrón* son generalmente: exactitud dimensional y geométrica es decir longitud, paralelismo y planitud, además capacidad de adherencia con otros bloques, buena estabilidad dimensional a través del tiempo, duros y resistentes al desgaste, coeficiente de expansión térmica cercano al de los metales comunes y resistentes a la corrosión. Los *bloques patrón* se clasifican en términos de uso de acuerdo con las normas JIS (Japón) y DIN (Alemania) como puede verse en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Clasificación de bloques patrón según su uso

Clasificación	Uso	Grado	
		JIS	DIN
Referencia	Investigación tecnológica y científica calibración de bloques patrón	0	0
Calibración	Calibración de instrumentos de medición Calibración de bloques patrón	0	0
Inspección	Inspección de partes, máquinas, herramientas etc. Calibración de instrumentos de medición	1	2
Taller	Fabricación de dispositivos. Inspección de instrumentos de medición. Montaje de herramientas de corte	2	1

4.1.2. Calibración de Cintas Métricas.

Para la calibración de *decámetros* y *flexómetros* comúnmente se utiliza una *cinta métrica patrón*, generalmente con medidas trazables a patrones nacionales o internacionales, y un *banco de prueba* el cual es construido para que la comparación se haga en las mejores condiciones (planitud, estabilidad, etc), ofrezca confiabilidad al proceso de medición y para evitar errores producidos por malos puntos de apoyo, mala sujeción del instrumento, errores por distorsión que se corrigen mediante lupas, o el típico error de paralaje que ocurre debido a la posición incorrecta del operador con respecto a la escala graduada del instrumento; estos tipos de error se cometen comúnmente en las mediciones en planta, pero en calibración deben ser eliminados. Comercialmente existen bancos de prueba digitales (Figura 4.4) diseñados para que los errores anteriormente mencionados sean eliminados en un gran porcentaje y otorguen una mayor precisión. Dichos bancos ofrecen directamente la medida de referencia patrón en forma digital y son muy costosos.



Figura 4.4. Banco de prueba de longitudes digital

4.1.3. Calibración Contadores Mecánicos de Metros.

Para los *contadores mecánicos de metros*, no existen sistemas comerciales o procedimientos estandarizados que permitan realizar calibraciones directas de estos instrumentos. Un laboratorio de calibración puede recurrir a un conjunto de instrumentos o sistemas certificados, que permitan obtener una cantidad calculada pueda ser un valor de referencia de longitud.

5. MEDICIÓN DE PRESIÓN

La presión es definida como la fuerza ejercida en un área específica y puede expresarse en unidades como Pascal (Pa), atmósfera (atm), kilogramo por centímetro cuadrado ($kg\ cm^{-2}$), bar y psi ($lb\ in^{-2}$); las dos últimas unidades son comúnmente utilizadas en la industria, aunque la unidad normalizada en el Sistema Internacional es el Pascal [41].

Existen diferentes clases de presión que pueden ser medidas por los instrumentos, las cuales se mencionan a continuación:

- La *presión absoluta* se mide con relación al cero absoluto de presión.
- La *presión atmosférica* es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 m.m de mercurio absolutos.
- La *presión relativa* es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.
- La *presión diferencial* es la diferencia entre dos presiones.
- La *presión de vacío* es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, la presión medida por debajo de la atmosférica.

Los instrumentos de presión se clasifican en cuatro grupos: *mecánicos*, *neumáticos*, *electromecánicos* y *electrónicos*, en el presente texto solo abarcaremos el primer y cuarto grupo.

5.1. ELEMENTOS MECÁNICOS

Se dividen en: elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado etc.); elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

El *tubo Bourdon* es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos. El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales hastelloy y monel.

El *elemento en espiral* se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

El *diafragma* consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento. Se utiliza para pequeñas presiones y normalmente está hecho de aleación de níquel o inconel X.

El *fuelle* es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente,

y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

5.2. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

Uno de los elementos electrónicos mas comunes, son los *transductores piezoeléctricos*. Su funcionamiento se basa en materiales cristalinos que al deformarse físicamente por la acción de la presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario. Este tipo de sensor, generalmente es ligero, de tamaño pequeño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas. Generalmente poseen electrónica adicional que permite mejorar la precisión, acondicionar la señal y compensar los efectos de la temperatura.

5.3. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

Para calibrar los instrumentos de presión pueden emplearse varios dispositivos que figuran a continuación y que utilizan manómetros o transmisores de presión como patrón. Los *manómetros patrón* (Figura 5.1) se emplean como testigos de la correcta calibración y/o verificación de los instrumentos de presión. Son manómetros de alta precisión con un valor mínimo de 0.2% de toda la escala. También pueden utilizarse los transmisores digitales inteligentes como aparatos patrón de precisión.

La calibración de los manómetros patrón se consigue con el comprobador de manómetros de *peso muerto o de piston* (ver Figura 5.1). El *comparador de manómetros de peso muerto* se compone de una bomba de aceite o de fluido hidráulico con dos conexiones de salida, una conectada al manómetro patrón que se está comprobando, y la otra a un cuerpo de cilindro dentro del cual desliza un pistón de sección calibrada que incorpora

un juego de pesas. La calibración se lleva a cabo accionando la bamba hasta levantar el pistón con las pesas y haciendo girar éstas con la mano; su giro libre indica que la presión es la adecuada, ya que el conjunto pistón-pesas está flotando sin roces. Una pequeña válvula de alivio de paso fino y una válvula de desplazamiento, permiten fijar exactamente la presión deseada cuando se cambian las pesas en la misma prueba para obtener distintas presiones, o cuando se da inadvertidamente una presión excesiva. Existen dos tipos de pistones, de baja y alta presión, con juegos de pesas que permiten obtener márgenes muy variados (por ejemplo: 0-20, 2-100, 30-150, 70-350, 140-700 bar).

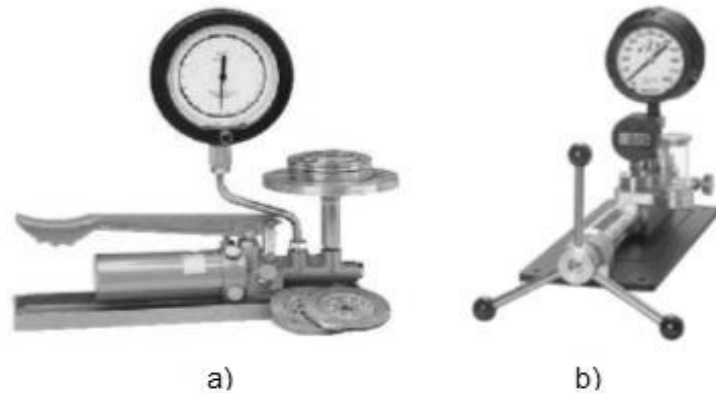


Figura 5.1. Comparadores de manómetros a) De peso muerto b) De pistón

La precisión de la medida llega ser del orden de 0,1 %. Un comprobador de manómetros de peso muerto puede alcanzar una precisión de $\pm 0.06\%$, y los pistones y las pesas utilizados pueden certificarse a $\pm 0.008\%$. Una de las principales características de este tipo de comparador es su precisión en la presión de referencia (patrón), pero resulta muy costoso mantener el sistema certificado ya que requiere la calibración de un numeroso conjunto de pesas patrón.

El *comparador de manómetros de pistón* utiliza como mecanismo para generar presión un pistón sujeto a un tornillo, el cual se gira por medio de un timón para aumentar o disminuir la presión en dos conexiones. Puede verse que el funcionamiento es parecido al del comparador de peso muerto, excepto que una de las conexiones de salida se destina al manómetro patrón y la otra al instrumento de presión a comprobar. Una gran ventaja del comparador de manómetros de pistón, es que se logran presiones muy variadas, alcanzadas con el ajuste manual del timón. Para garantizar la trazabilidad del sistema, basta con certificar el manómetro patrón.

6. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran [41]:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares o termocuplas).
- Intensidad de radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal...).

Dichos fenómenos se emplean en instrumentos como: termómetros de vidrio, termómetros bimetalitos, termómetros de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

Los *termómetros bimetalicos* se fundamentan en el distinto coeficiente de dilatación

térmica de metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferro-níquel o invar. (33% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices. Un termómetro bimetálico contiene pocas partes móviles, solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico. El eje y el elemento están sostenidos por cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. No hay engranajes exijan un mantenimiento. La precisión del instrumento es de $\pm 1\%$ y su campo de medida de -200 a $+500^{\circ}\text{C}$.

Los *termómetros de bulbo y capilar* consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo. Hay tres clases de este tipo de termómetros:

- Clase I: Termómetros actuados por líquido.
- Clase II: Termómetros actuados por vapor.
- Clase III: Termómetros actuados por gas.
- Clase IV: Termómetros actuados por mercurio.

Una forma de medición indirecta de temperatura es la medida de la resistencia, utilizando *sondas de resistencia* que depende de la variación de su resistencia en función de la temperatura. El elemento de detección consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa a una temperatura específica, la variación de resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura. La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0(1 + \alpha T) \quad (6.1)$$

en la que:

R_t Resistencia en ohmios a $t^\circ\text{C}$

R_0 Resistencia en ohmios a 0°C

α Coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de $0.0003850 \frac{\Omega}{\Omega \cdot ^\circ\text{C}}$ en la Escala Practica de Temperaturas Internacional (IPITS-68)

El platino es el material más adecuado para la construcción de sondas de resistencia, pues tiene un alto coeficiente de temperatura, alta resistividad, relación lineal resistencia - temperatura y estabilidad, pero presenta el inconveniente de su alto costo. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0°C llamada PT 100.

6.1. EQUIPO PARA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

Para la calibración de temperatura se emplean baños de temperatura *calibradores de bloque metálico, de baño de arena, de baño de líquido y hornos.*

El *calibrador de bloque metálico* (Figura 6.1) consiste en un bloque metálico calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión ($\pm 2^\circ\text{C}$) adecuado para aplicaciones de alta temperatura (-25°C a 1200°C). En el calibrador hay orificios de inserción para introducir un termopar patrón y la sonda de temperatura a comprobar.



Figura 6.1. Calibrador de bloque metálico

El *calibrador de baño de arena* consiste en un depósito de arena muy fina que contiene tubos de inserción para la sonda de resistencia o el termopar patrón y para las sondas de temperatura a comprobar. La arena caliente es mantenida en suspensión por medio de una corriente de aire, asegurando así la distribución uniforme de temperaturas a lo largo de los tubos de inserción.

El *calibrador de baño líquido* (Figura 6.2), comúnmente llamado *baño térmico*, consiste en un tanque de acero inoxidable lleno de líquido, con un agitador incorporado, un termómetro patrón sumergido y un controlador de temperatura que actúa sobre un juego de resistencias calefactoras y sobre un refrigerador mecánico dotado de una bobina de refrigeración, en algunos casos no existe el refrigerador. El agitador mueve totalmente el líquido, disminuye los gradientes de temperatura en el seno del líquido y facilita la transferencia rápida de calor; el termómetro patrón es de tipo laboratorio, con una gran precisión; el controlador de temperatura puede ser ON-OFF, proporcional o proporcional más integral; los fluidos en el baño son varios dependiendo del campo de temperatura de trabajo.



Figura 6.2. Baño térmico

Los *hornos de temperatura* son hornos de mufla calentados por resistencias eléctricas y con tomas adecuadas para introducir los elementos primarios del instrumento (termopar) a comprobar. La calibración resulta precisa disponiendo de en el interior del horno crisoles con materiales específicos que funden a temperaturas determinadas.

7. CONCEPTOS BÁSICOS

7.1. CONVECCIÓN

La convección como modo de transferencia de calor, ocurre siempre que una superficie esta en contacto con un liquido o gas adyacente en movimiento, y a una temperatura diferente a la de dicha superficie implicando los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Si el fluido es muy frío, con el transcurso del tiempo, el fluido que esta en contacto inmediato con la pared se calienta por conducción, provocando que el fluido se haga menos denso, provocando que el fluido mas ligero se eleve y lo reemplace por una cantidad de fluido mas frío, repitiéndose continuamente este proceso. Puesto que el movimiento del fluido queda establecido por fuerzas naturales, se le denomina convección natural. Si por ejemplo con un ventilador se fuerza al fluido a moverse, resultara un tipo de convección forzada [7].

En la práctica, la siguiente expresión se usa para determinar razones de transferencia de calor por convección

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty), W \quad (7.1)$$

donde T_s es la temperatura de la superficie en Kelvin (K), T_∞ es la temperatura del fluido circundante que esta suficientemente alejado de la superficie (K), h es el coeficiente convectivo de transferencia calor ($Wm^{-2}K^{-1}$), \dot{Q} es la tasa de transferencia de calor y A es el área de transferencia de calor en metros cuadrados (m^2).

7.2. EXPANSIÓN TÉRMICA

El aumento de temperatura ocasiona generalmente un aumento de volumen, tanto en sustancias sólidas como en líquidas; se demuestra experimentalmente que, si la variación de temperatura ΔT no es demasiado grande, el aumento de volumen V es, aproximadamente proporcional a la variación de temperatura y al volumen inicial. Esta relación puede expresarse como sigue:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T, \text{ m}^3 \quad (7.2)$$

La constante, que caracteriza las propiedades de dilatación volumétrica, se denomina coeficiente de expansión térmica. Este coeficiente varía algo con la temperatura y la ecuación anterior debe considerarse como una relación aproximada, válida para variaciones de temperatura suficiente pequeñas [73].

7.3. CONTROLADORES PID

En el control automático de procesos, lo que se pretende es controlar magnitudes físicas (temperatura, presión, flujo, pH, etc) en valores deseados. Un controlador automático genera una acción de control, que es el resultado de comparar la señal de salida del proceso (magnitud física) con el valor deseado en la magnitud (set point).

Los controladores clásicos se clasifican de acuerdo a estrategia de control que realizan, como [71]:

- On/Off.
- Proporcionales
- Integrales
- Proporcionales-Integrales
- Proporcionales-Derivativos
- Proporcionales-Integrales-Derivativos.

Estos controladores en su mayoría, emplean como fuente de energía la electricidad o un fluido presurizado (aire o aceite). Considerando la fuente de energía, también se pueden clasificar los controladores como: neumáticos, hidráulicos y eléctricos. El tipo de controlador debe considerar la clase de planta y las condiciones operacionales, así como la seguridad, costos, tiempo, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

Un sistema de control consiste básicamente de un controlador automático, un actuador, una planta y un elemento de medición. El controlador detecta una señal de error (magnitud deseada - magnitud física), para que el control automático proporcione una señal a un actuador (tal como un motor eléctrico, una válvula neumática, etc.). El sensor o elemento de medición, se encuentra en el trayecto de realimentación y es el encargado de convertir la variable de salida en una que se pueda comparar con la señal de entrada.

7.3.1. Acción de control proporcional.

Para un controlador con acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p e(t) \tag{7.3}$$

en donde K_p se denomina ganancia proporcional. En otros términos, el controlador por acción proporcional es un amplificador con una ganancia ajustable.

7.3.2. Acción de control integral.

En un controlador con acción de control integral, el valor de salida del controlador $u(t)$ cambia a una razón proporcional de a la señal de error $e(t)$, es decir,

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (7.4)$$

en donde K_i es una constante ajustable. En el control de una planta, la señal de control, es, en todo momento el área bajo la curva de la señal de error hasta tal momento. La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Esto, no se puede lograr en un controlador proporcional, dado que una señal de control diferente de cero requiere de una señal de error diferente de cero. Aunque la acción de control integral elimina el error en estado estable, puede conducir a una respuesta oscilatoria de amplitud decreciente lenta o, de amplitud creciente, casos por lo general considerados indeseables. La acción de control integral se le conoce también como control de reajuste.

7.3.3. Acción de control proporcional-integral.

Esta acción de control proporcional-integral (PI) se define mediante,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (7.5)$$

en donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son ajustables. Cuando una acción de control derivativo se agrega a un controlador proporcional, se puede lograr un controlador con una alta sensibilidad. Una ventaja de usar una acción de control derivativa es que responde a la velocidad de cambio del error y produce una corrección antes que la magnitud del error sea demasiado grande. La acción derivativa prevé el error, inicia una acción correctiva a tiempo y tiende a aumentar la estabilidad del sistema. Debido a que el control derivativo opera sobre la velocidad de cambio del error, y no sobre el error mismo, nunca se usa solo, siempre se emplea junto con una acción de control proporcional o derivativa, tiene la desventaja de amplificar el ruido y puede con esto saturar el actuador.

El tiempo derivativo T_d es el tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción de control proporcional. La acción de control derivativa, es también llamada control de velocidad.

7.3.4. Acción de control proporcional-derivativa.

Esta acción de control (PD) se define mediante,

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7.6)$$

en donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son ajustables. Cuando una acción de control derivativo

se agrega a un controlador proporcional, se puede lograr un controlador con una alta sensibilidad. Una ventaja de usar una acción de control derivativa es que responde a la velocidad de cambio del error y produce una corrección antes que la magnitud del error sea demasiado grande. La acción derivativa prevé el error, inicia una acción correctiva a tiempo y tiende a aumentar la estabilidad del sistema. Debido a que el control derivativo opera sobre la velocidad de cambio del error, y no sobre el error mismo, nunca se usa solo, siempre se emplea junto con una acción de control proporcional o derivativa, tiene la desventaja de amplificar el ruido y puede con esto saturar el actuador. El tiempo derivativo T_d es el tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción de control proporcional. La acción de control derivativa, es también llamada control de velocidad.

7.3.5. Acción de control proporcional-integral-derivativa.

Resulta de la combinación de la acción de control proporcional, la acción de control integral y la acción de control derivativa. La combinación de estas tres acciones de control da las ventajas de las tres de manera individual. La ecuación del controlador se obtiene mediante,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{e(t)}{dt} \quad (7.7)$$

en donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral T_d es el tiempo derivativo.

8. TRABAJO EN LA PASANTÍA

8.1. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN

Antes abordar el tema relacionado con el trabajo en la pasantía, es necesario comentar algunas antecedentes acerca del personal en Icobandas S.A. con relación a la implementación de la norma ISO 9000. Una característica fundamental en el proceso de implementación de la norma ISO 9000, es que el recurso humano debe estar informado acerca de la norma, debe ser competente y debe estar debidamente capacitado. Para cumplir con esto, el personal de la empresa es sensibilizado acerca de las implicaciones que tiene el aplicar este tipo de normas y es informado acerca de cuales son sus funciones. Particularmente, el área de metrología en Icobandas S.A. está a cargo del Jefe de Mantenimiento, y en efecto, la empresa lo ha capacitado a través de un diplomado en metrología y pasantías relacionadas en las variables físicas medidas en la empresa. Aunque el Jefe de Mantenimiento es el encargado de hacer cumplir directamente el requisito 7.6 de la norma ISO 9001 [52]. Las actividades de verificación son realizadas por el Metrólogo, cargo dado en la empresa a la persona dedicada enteramente a las actividades relacionadas con la confirmación metrológica e instalación de instrumentos. Esta persona igualmente ha sido capacitada por medio de pasantías. Con estos antecedentes, el trabajo en la pasantía consistió en apoyar el proceso de implementación de la norma ISO 9000 en el area de metrología.

La empresa para apoyar el cumplimiento del requisito relacionado al control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición, debe hacer un inventario de todos los instrumentos de medida con los que cuenta y debe definir cuales de ellos comprometen directamente la calidad de sus productos, estos últimos son conocidos como equipos críticos. Dicho inventario no es auditable por la norma, pero sirve como material de apoyo para algunas de las actividades asociadas con la implementación de la norma (por ejemplo, la identificación de los equipos) y para la elaboración de las hojas de vida de los Equipos de Seguimiento y Medición Críticos.

Antes de iniciar con el trabajo de la pasantía, el Metrólogo realizó dicho inventario tomando en cuenta los siguientes criterios: tipo de equipo, ubicación, marca, serie, tipo, rango, unidad, capacidad máxima y mínima, división de escala, resolución, clase y conexión. La primera actividad en el trabajo de la pasantía, consistió en confirmar, para los equipos críticos, que los datos registrados en el inventario fuesen correctos.

Otro de los documentos elaborados en la pasantía, en equipo con directivos de la empresa, fue el listado de variables de medición, el cuál consiste en registrar en los sitios donde existen variables críticas los rangos de medida más comunes y las tolerancias en las medidas. Esto sirve para evaluar si en los sitios donde se miden variables críticas, los instrumentos ofrecen la precisión requerida. Se hizo esta evaluación en la empresa y se encontraron irregularidades, como equipos con rangos muy bajos con respecto al rango de operación en el que trabajaban siendo este caso el más anómalo, entre otros casos, y junto con el Jefe de Mantenimiento de Icobandas S.A. se decidió que tipo de instrumento se ajustaba a la variable a medir, lo que sirvió para el proceso de compra de los mismos y su futura instalación.

8.2. LABORATORIO DE METROLOGÍA

Icobandas S.A. para poder controlar los Equipos de Seguimiento y Medición debe establecer periodos en los que los instrumentos de medida deben ser calibrados y/o verificados. Los periodos de calibración se establecen en tiempos de aproximadamente un año y deben realizarse las correspondientes calibraciones por medio de laboratorios especializados externos a la empresa que tengan trazabilidad de sus patrones a patrones nacionales o internacionales. Las verificaciones solo se aplican para equipos críticos y se establecen en periodos de meses y pueden hacerse externamente o internamente en la empresa con medidas trazables a patrones nacionales secundarios. De esta manera, Icobandas S.A. decidió construir un laboratorio de metrología (ver Fotografía 8.1) en donde se puedan desarrollar actividades de verificación; dicha construcción resulta muy costosa ya que se debe disponer de un sitio con las condiciones ambientales adecuadas (temperatura, humedad, limpieza etc) y debe contar los elementos necesarios para las verificaciones. Icobandas S.A. tomó esta alternativa, frente a la de contratar este tipo de servicios por fuera de la empresa, que a largo plazo resulta mucho más costoso.



Icobandas S.A

Fotografía 8.1. Laboratorio de Metrología de Icobandas S.A

Los periodos de verificación y calibración de los Dispositivos de Seguimiento y Medición son establecidos y registrados en formatos internos, por el Jefe de Mantenimiento de la empresa, basado en los criterios especificados en la norma ISO 10012 [55], [60]. No es obligatorio cumplir a cabalidad la norma ISO 10012, pero es una buena referencia en el cumplimiento del requisito 7.6 de la norma ISO 9001. Algunos de los criterios para evaluar los periodos de verificación y calibración son: tipo de equipo, recomendaciones de fabricante, tendencia al desgaste, registros históricos de verificación o calibración, condiciones ambientales, costo de metrología, entre otros.

Para cumplir con las especificaciones ambientales necesarias para la verificación de Equipos de Seguimiento y Medición, en Icobanas s.a. el laboratorio de metrología fue construido con unas instalaciones herméticas para garantizar las condiciones de limpieza, con aire acondicionado para garantizar la temperatura permitida en el laboratorio y con una correcta iluminación. Adicionalmente, la empresa tiene una programación para instalar periódicamente un extractor de humedad con el fin de mantener la humedad relativa del laboratorio en los límites permitidos. Estas variables son mon-

itoreadas mediante un *Termohigrometro* mostrado en la Fotografía 8.1. Al comenzar la pasantía, la empresa ya tenía construido el laboratorio con las características anteriormente mencionadas. Para el uso del laboratorio en las verificaciones, se elaboró el instructivo [30] donde se especifican las condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (temperatura, humedad y limpieza) y consideraciones para su correcto uso. Así mismo, para manejar y preservar correctamente los medios de verificación y patrones, se elaboró un instructivo [31] donde se establecen los cuidados en el uso y las operaciones de limpieza a las que deben ser sometidos. En la elaboración de estos documentos se tuvo en cuenta los módulos [3] [4] [5] [6] utilizados en los cursos de capacitación del personal (diplomado y pasantías), algunos de los lineamientos de la norma ISO 17025 [56], entre otros documentos.

8.3. DOCUMENTOS

Icobandas S.A. debe asegurar que sus Equipos de Seguimiento y Medición funcionan correctamente. En gran parte esto depende de su correcta manipulación, por ello se elaboraron *instructivos de uso y manejo* de los Equipos de Seguimiento y Medición, especificando en ellos definiciones del instrumento y la variable medida, recomendaciones de uso, manejo y almacenamiento, y los pasos que se deben seguir para realizar una medida, con la intención de obtener unas medidas confiables y proteger los equipos de daños y deterioro. Se elaboraron instructivos para los siguientes equipos: balanzas de platón [10], balanzas electrónicas [11] [12] [13], básculas de piso [14], calibrador de lonas [15], cuentametros [16], decámetro [17], durómetro [18], flexómetro [19], hidrómetro [20], manómetro [21], micrómetro [22], nivel de precisión [23], pie de rey [24], presóstato [25], tensiómetro electrónico [26], tensiómetro hidráulico [27], termómetro con termocoupla [28], y termómetro bimetálico [29]. Un ejemplo de un instructivo se encuentra en el ANEXO A.

Para poder llevar a cabo una verificación en Icobandas S.A. es necesario contar, para cada tipo de instrumento, con una metodología que permita dar cumplimiento a las especificaciones del ensayo, para garantizar la repetibilidad de la medida y además tener unos resultados confiables. Dicha metodología se describe en los procedimientos de verificación (ANEXO B), donde el Metrólogo encuentra las acciones que se deben llevar a cabo en la verificación. El documento comienza describiendo las actividades de

limpieza del instrumento a verificar y especificando el equipo necesario para el ensayo. Luego detalla como realizar una inspección visual del instrumento y el método utilizado para la prueba en puntos previamente definidos y especificados en el procedimiento. Finalmente, se establecen los límites de error permitidos, los cuales son una referencia para determinar si el equipo crítico cumple con los requisitos especificados por Icobandas S.A. Se elaboraron para Icobandas S.A. procedimientos de verificación para los siguientes equipos críticos: balanza electrónica [32], cuentametros [33], decámetro [34], durómetro [35], flexómetro [36], manómetro [37], pie de rey [38], tensiómetro hidráulico [39], termómetro [40].

Los resultados de cada verificación, deben diligenciarse en registros y deben preservarse adecuadamente. Para mantener los registros de los resultados de la verificación, se diseñó un documento llamado *Protocolo de Verificaciones Internas Para Equipos Críticos* (ANEXO C) donde se consignan los datos del equipo a verificar, las condiciones de ensayo, las fechas de verificación, su estado funcional y de medida. Al final del protocolo se encuentra un campo para avalar o desaprobado el equipo, otro para las observaciones de la verificación y finalmente un espacio para las firmas de aprobación del proceso.

Las consideraciones tomadas para la documentación elaborada en la pasantía (instructivos, procedimientos, protocolo de verificación) se basaron en normas técnicas colombianas, normas internacionales, documentación relacionada con metrología, manuales técnicos, entre otros. Los documentos nombrados anteriormente son auditables en la norma ISO 9000 y son propiedad de Icobandas S.A.

Para lograr un correcto cumplimiento del requisito 7.6 de la norma ISO 9001, no basta con elaborar todos los documentos que requiere la norma. La empresa debe comunicar dicha información a su personal y evaluar este conocimiento. En la pasantía, junto con el Jefe de Mantenimiento y el Metrólogo, se orientaron seminarios teórico-prácticos comunicando los instructivos elaborados al personal. Igualmente en repetidas reuniones con el Metrólogo, se dio a conocer los procedimientos de verificación. Para realizar la evaluación de los conocimientos, el Departamento de Personal y el Departamento de Mantenimiento de la empresa aplicaron los exámenes pertinentes.

Para finalizar, otro tipo de documento elaborado en la pasantía son los manuales técnicos, elaborados para los equipos construidos, particularmente en la verificación de los contadores mecánicos de metros y los termómetros. Este tipo de documento no es auditable en la norma ISO 9000, pero es de gran ayuda en el Laboratorio de Metrología. Más adelante se describirán estos documentos.

8.4. CALCULO DE LOS ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS

Uno de los criterios para evaluar si un instrumento pasa o no una verificación es la inspección visual. Si un instrumento no cumple con las condiciones operacionales mínimas, este debe ser reemplazado por uno en buen estado. Un incumplimiento de este tipo es por ejemplo la ilegibilidad de las graduaciones o el mecanismo de medida averiado. Pero quizá el criterio más importante en la verificación es la prueba de precisión, realizada en puntos de medida certificados por medio de los patrones. El resultado de la prueba de precisión, es el error en las medidas el cual es comparado con un error máximo permitido especificado en los procedimientos. Los límites de error permitidos deben ser siempre menores que la tolerancia; según la norma 10012 [55], este límite de error permitido debe ser al menos la tercera parte de la tolerancia; este criterio es una referencia y no es de obligatorio cumplimiento. Otro criterio para escoger el límite de error permitido, son las normas técnicas específicas para cada tipo de instrumento de medida.

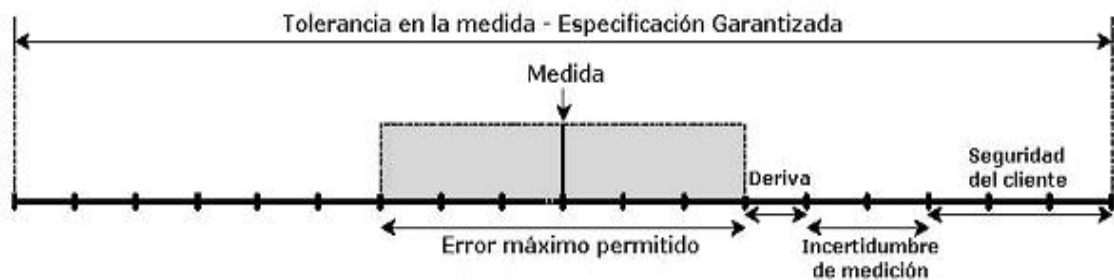


Figura 8.1. Comparación entre el error máximo permitido y la tolerancia en la medida

En la Figura 8.1 se ve claramente que las especificaciones ofrecidas al cliente en los productos o en el proceso productivo, son realizadas con Equipos de Seguimiento y

Medición con una precisión mayor. El error en el instrumento se confirma que esté entre el error máximo permitido por medio de las verificaciones (condiciones ambientales controladas). Puede verse también, que existe un error debido a la deriva del instrumento por el uso y por las condiciones ambientales en planta. Además, hay un error debido a la incertidumbre de la medida que es consecuencia del límite instrumental del equipo (división de escala y resolución) y al método de medida utilizado. Los últimos dos errores son controlados con la correcta elección de los instrumentos y con las indicaciones registradas en los instructivos, garantizando así la reproductibilidad .

Con todas las especificaciones definidas en el área de metrología, se cumple entonces con las especificaciones en las medidas y se amplía el rango en la seguridad del cliente.

8.5. SELECCIÓN DE EQUIPO DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA

Basados en la información acerca de los equipos que se utilizan en laboratorios de calibración, se escogieron los equipos necesarios para llevar a cabo la verificación de los Dispositivos de Seguimiento y Medición Críticos, aclarando que para el proceso de verificación se necesitan unas condiciones menos rigurosas que para un proceso de calibración. La verificación solamente es una actividad de comprobación metrológica de rutina pero en periodos de tiempo más cortos. En verificación se realiza una comparación de la indicación del instrumento con un patrón de trabajo, el cual es certificado por un laboratorio de calibración nacional avalado por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), para garantizar la trazabilidad de las medidas. Los patrones de trabajo fueron seleccionados con una precisión mayor o igual a la de los equipos críticos, y según el rango de estos.

8.6. MASA

Icobandas S.A. cuenta con dos balanzas electrónicas de precisión media (clase III) las cuales son empleadas en planta para determinar el peso de reactivos químicos que se utilizan para obtener el caucho requerido; estas balanzas tienen un rango máximo de 0 a 20 y 30 kg, con una división de escala es 0,1 y 1 g, respectivamente. El rango de medida de las balanzas está entre 0 y 3 kg, con una tolerancia de ± 1 g. Además Icobandas S.A. cuenta en el Laboratorio de Control de Calidad con una balanza electrónica de precisión fina (clase II) para uso general, la cual tiene una división de escala de 1 mg y rango de medida de 0 a 160 g, que coincide con el rango del instrumento. La tolerancia en las medidas es de $\pm 0,003$ g. Debido a que el rango de operación y la división de escala es diferente para cada clase de balanza, las *pesas patrón* son específicas para cada clase, por ello se seleccionaron *pesas patrón* (Fotografía 8.2) clase fina (F1) de 2, 50, 100 g para cubrir el rango de operación de la balanza clase II y *pesas patrón* clase media (M1) para las balanzas clase III de 1000 y 2000 g. Los dos juegos de pesas fueron elaboradas por Equipesaje Leal & CIA y certificadas por el Laboratorio de Metrología Detecto de Colombia LTDA.

De esta manera, la verificación para las *balanzas* clase III abarcará puntos de verificación en 1000, 2000 y 3000 gramos y la verificación para la balanza clase II abarcará puntos de verificación en 2, 50, 150 gramos. Con dichos puntos se cubre el rango de medida de cada clase de balanza y se establece que son suficientes para una verificación. Los puntos de verificación se desarrollan colocando el patrón sobre el plato de pesaje de la balanza, registrando la lectura de masa y calculando el error en la medida. Este procedimiento se realiza aplicando carga en forma ascendente (progresiva) y en forma descendente (regresiva). Finalmente, se compara el error calculado con el error máximo permitido del punto. Los límites de error permitido fueron calculados según la norma NTC 2031 [45], el documento “Práctica en masas y balanzas” [6], y teniendo en cuenta la tolerancia definida en Icobandas S.A. Toda esta información junto con el método de verificación se encuentran en el procedimiento de verificación [32] correspondiente.



Pesas patrón de 2, 50, 100, 1000, 2000 g

Fotografía 8.2. Pesas patrón

8.7. DUREZA

En el Laboratorio de Control de Calidad de Icobandas S.A. se realizan diferentes pruebas a la materia prima, al caucho preparado y al producto terminado (bandas transportadoras), como pruebas de tensión y desgaste entre otras. Uno de los criterios de evaluación más importantes en los cauchos, entre otros tipos de variables, es la dureza. Los cauchos preparados en la empresa son clasificados como cauchos blandos y por lo tanto su dureza se expresa en términos de la escala Shore A. Para realizar este tipo de medidas, la empresa cuenta con un *durómetro* (ver Fotografía 8.3) marca Härteprüfer con un rango de 0 a 100 Shore A y una división de escala de una unidad. El rango de las medidas tomadas comúnmente varían entre 40 y 85 Shore A con una tolerancia en

la medida de ± 5 Shore A.

Para poder realizar la verificación se escogieron dos puntos de dureza que estuvieran dentro del rango de medida en la empresa y que sean los más comunes, decidiendo que fueran cercanos a 50 y 70 Shore A. Comercialmente se cotizaron y compraron los *bloques patrón de prueba* (ver Fotografía 8.3) referenciados a continuación.



patrones de 74,7 y 55,4 Shore A

Fotografía 8.3. Bloques patrón para dureza

Fabricante: Rex Gauge co. Inc.
Modelo: TB-1
Dureza: 55,4 ± 2 puntos
Tipo: A

Fabricante: Rex Gauge co. Inc.
Modelo: TB-1
Dureza: 74,7 ± 2 puntos
Tipo: A

Se escogieron solamente dos puntos de referencia debido a que el proceso de verificación de este instrumento es rutinario y la cantidad de puntos no necesariamente debe ser numeroso, además, el costo de metrología al respecto es muy elevado. De esta manera, se establece que dos puntos son suficientes para hacer la verificación del durómetro.

Se decidió que el error máximo permitido para el instrumento es de ± 4 Shore A, fue calculado de tal manera que fuera más pequeño que la tolerancia (± 5 Shore A) y fuese no mayor a la incertidumbre en la dureza del bloque patrón (± 2 Shore A). Dicho límite de error permitido es especificado en el procedimiento de verificación correspondiente [35]. Puede verse que el error máximo permitido es grande, lo que implica que hay que ser muy cuidadosos con la incertidumbre en la medida; esto en parte se soluciona tomando varias medidas de dureza en las muestras y realizando un promedio, este proceso de especifica en el instructivo del instrumento [18].

8.8. LONGITUD

Para Icobandas S.A. las mediciones longitudinales son un factor de gran relevancia y es por ello que el laboratorio de metrología deba brindar los equipos y medios necesarios con los cuales se puedan realizar las verificaciones para los equipos críticos, con los que se dan las especificaciones longitudinales que desea el cliente.

En las siguientes secciones se describe el equipo con que fue dotado el laboratorio de metrología para realizar las verificaciones de *pie de rey*, *flexómetros* y *decímetros* (cintas métricas), *cuentamétros* (contadores mecánicos de metros).

8.8.1. Pie de rey.

En Icobandas S.A. el *pie de rey* o calibrador es utilizado para medir generalmente calibre de bandas y cauchos, en la escala de milímetros y pulgadas. La mayoría de estos instrumentos tienen un rango de 0 a 150 milímetros y 0 a 6 pulgadas, con una división de escala de 0,05 mm y 1/128 in, respectivamente. En la empresa, los rangos de medida comúnmente se encuentran entre 0,5 y 40 mm, con tolerancias hasta de $\pm 0,1$ mm.

Para su verificación se seleccionaron tres *bloques patrón*, marca Mitutoyo, JIS grado (Fotografía 8.4), con certificado de inspección en “Mitutoyo” Japón, con trazabilidad a NIST (National Institute of Standard and Technology) y a PBT (Physicalisch-Technische Bundesanstalt). Teniendo en cuenta el rango de mediada de estos instrumentos, se determinó que en el laboratorio de metrología se contarán con tres bloques con longitudes de 2,5 mm $\pm 0,03$ μm , 12,5 mm $\pm 0,08$ μm y 25 mm $\pm 0,09$ μm (estas incertidumbres estan dadas por el certificado de inspección), con estuche de limpieza y accesorios para su manipulación. Cabe aclarar que estos bloques fueron importados, por lo que su costo y el tiempo de importación son muy altos (\$300.000 pesos y 4 meses). Con estos *bloques patrón* se podrán realizar verificaciones en siete puntos (2,5 mm, 12,5 mm, 15 mm, 25 mm, 27,5 mm, 37,5 mm, 40 mm,) para cubrir el rango de medida máximo en Icobandas S.A., tomando medidas por separado de los patrones o realizando combinaciones de ellos mediante unión forzada (proceso de forzado).



bloques de 2,5mm 12,5mm 25mm

Fotografía 8.4. Bloques patrón de longitud

El procedimiento para la verificación se realiza midiendo la longitud dada en cada punto de verificación. Posteriormente para cada punto se calculan los errores en las medidas

y se determina si estos están dentro de error máximo permitido establecido en Icobandas S.A. Los límites de error fueron calculados teniendo en cuenta la norma NTC 4303 [46] y el módulo de la pasantía en mediciones longitudinales [4] propiedad del Jefe de Mantenimiento de Icobandas S.A. Además estos documentos permitieron, obtener información del uso y cuidado con los bloques, información que fue registrada en el procedimiento correspondiente [38] y en el Instructivo para la preservación de patrones [31], con el cual se busca obtener el buen uso, los cuidados, el mantenimiento y el almacenamiento de todos los patrones presentes en el laboratorio, para que las medidas realizadas con estos sean repetibles y confiables.

8.8.2. Cintas Métricas.

Las *cintas métricas* junto con el *pie de rey* son los equipos de medición más utilizados en Icobandas S.A. pues en sí, estos ejercen el mayor control del producto que se le envía al cliente y se encuentran ubicados en diversas partes del proceso de producción. Los *decámetros* son utilizados para medir el largo de las bandas y tienen una longitud máxima de 20 metros, con división de escala de 2 milímetros. Los *flexómetros* son utilizados generalmente para medir el ancho de las bandas y tienen una longitud máxima de 3 metros, con división de escala de un milímetro.

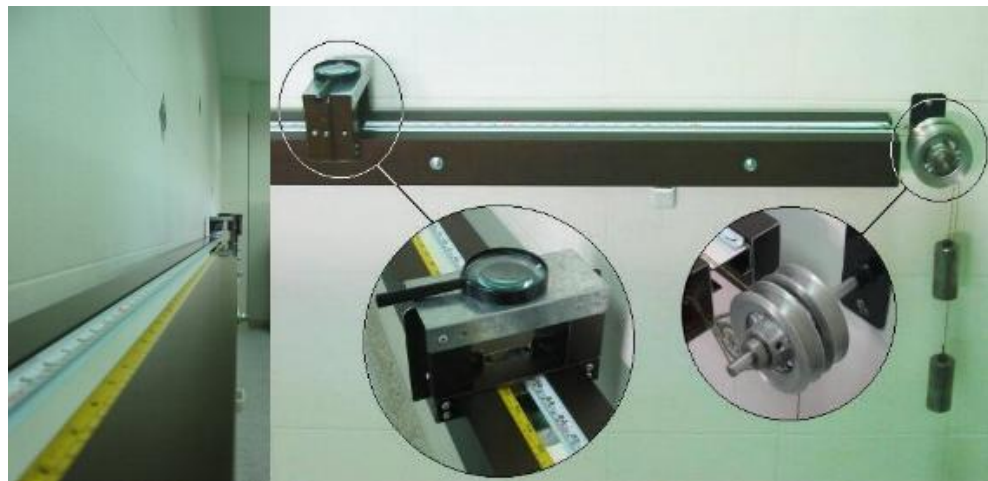
Antes de iniciar el trabajo de la pasantía, para la verificación de *decámetros* y *flexómetros* el Jefe de Mantenimiento seleccionó una *cinta métrica patrón* de cinco metros (Fotografía 8.5), con división de escala de un milímetro, certificada por Metrocalidad s.a. En ese instante no se contaba con el banco comparador, por lo que fue necesario diseñar y construir junto con el Jefe de Mantenimiento y el Metrólogo este banco, tomando como referencia la experiencia adquirida por estas personas en la pasantía en mediciones longitudinales [4]. El resultado fue el banco comparador que puede verse en la Fotografía 8.6, tiene una longitud de aproximadamente 5,2 metros y está construido con perfiles de aluminio, que tienen buena rigidez, planitud, muy poco peso y gran longitud, estos perfiles son utilizados para elaborar puertas y ventanas. El banco comparador está sujeto a una de las paredes del laboratorio por medio de seis soportes, con una distancia entre ellos de 88 cm, con lo que se asegura que esté nivelada y no tenga curvaturas. El banco tiene un canal, de aproximadamente 50 milímetros de ancho, en el cual se extienden las cintas métricas sobre un espejo que es el que permite minimizar el error de

paralaje.



patron de 5m

Fotografía 8.5. Cinta métrica patrón



comparador de cintas

Fotografía 8.6. Banco de comparación de cintas métricas

Para realizar una verificación, la cinta patrón y el (*flexómetro ó decámetro*) a verificar, son colocadas cinco minutos antes (para que su temperatura sea la misma), luego se hacen coincidir sus ceros y en el otro extremo de cada cinta es colocado una pesa de un

kilogramo aproximadamente, esto con el fin de obtener durante la prueba una tensión semejante a la que se tiene en una medida común. Posteriormente mediante un indicador (Fotografía 8.6) y una lupa se miden cinco puntos de verificación que se distribuyen uniformemente sobre el rango de medida del instrumento. En cada medición se confirma tres veces para obtener luego un promedio y posteriormente calcular el error. Por ultimo se compara este error con el limite de error permitido calculado para cada punto y se determina si el instrumento pasa o no la verificación.

Los limites de error permitido, son calculados mediante formulas que fueron determinadas teniendo en cuenta la tolerancia en las medidas del proceso y la norma NTC-1724 [43]. Las formulas son lineales y determinan el limite del error para cada medida, según el rango de operación de los instrumentos. Todas las formulas y demás consideraciones fueron registradas en los procedimientos para verificación de *flexómetros* [36] y *decámetros* [34].

8.8.3. Cuentamétros.

Las bandas transportadoras fabricadas y las lonas (materia prima de las bandas), generalmente tienen longitudes hasta de 400 y 650 metros, respectivamente. Realizar mediciones de este orden con un decámetro no es práctico y ofrece una incertidumbre grande en la medida. En Icobandas S.A. para medir estas longitudes, utilizan desde hace muchos años contadores mecánicos de metros, ubicados en máquinas cortadoras de bandas y lonas, las cuales desplazan la pieza a medir por medio de rodillos.

Para la verificación de contadores mecánicos no existe comercialmente un equipo que lo permita, debido a esto se debía establecer un método el cual permitiera comprobar que los equipos funcionaran correctamente y que sus errores instrumentales estuvieran dentro de los límites establecidos por la empresa; la tolerancia en estas medias de +30 centímetros, este es un límite unilateral debido a que Icobandas S.A. no puede ofrecer bandas más cortas de lo requerido por sus clientes. El método implementado consiste en dos partes: la primera es la verificación del diámetro de las ruedas del instrumento y la segunda es la de comprobar si el sistema mecánico de los contadores funciona

correctamente. Veamos en detalle cada una de estas partes.

Para la verificación del diámetro de las ruedas, se adquirió un micrómetro (ver Fotografía 8.7) marca Mitutoyo con un rango de 75 a 100 mm y una división de escala de 0,01 mm. El micrómetro fue certificado por la Corporación Metrocalidad s.a. Se realizaron medidas a diferentes ruedas usadas y el diámetro promedio obtenido fue de 96,98 mm . Para ruedas nuevas se obtuvo una medida de 97,04 mm. Para solucionar el problema en el desgaste de las ruedas, es conveniente entonces hacer un reemplazo por unas ruedas con un diámetro conveniente.



Micrometro Mitutoyo de Icobandas S.A.

Fotografía 8.7. Micrómetro para verificación de diámetro de ruedas de contadores mecánicos

Para verificar el sistema mecánico de los contadores, se desarrolló un sistema que permite simular una distancia de referencia aplicando un movimiento de rotación en el eje de giro donde son colocadas las ruedas. Este sistema fue llamado verificador de cuentametros (ver Fotografía 8.8) y consiste en un motor paso a paso controlado por un equipo electrónico configurable. La idea con este equipo fue la de establecer si los sistemas mecánicos cumplen con las especificaciones del fabricante asumidas según [76]. Estas especificaciones establecen que el diámetro de las ruedas deben ser de 97,03 mm, por lo tanto era obvio que el sistema mecánico estaba construido para esta longitud. Para tener mayor detalle acerca del verificador vea ANEXO D.



verificador desarrollado

Fotografía 8.8. Verificador de cuentamétros

En el momento de tener implementado completamente el método de verificación de los contadores, se procedió a realizar las verificaciones. Primero se verificaron varios sistemas mecánicos, nuevos y en uso, asumiendo que estaban construidos para funcionar con unas ruedas con diámetro de 97,03 mm. Las longitudes simuladas por el verificador estuvieron en el rango de un metro a 300 metros. Los resultados fueron registrados en varias oportunidades y a partir de ellos se calcularon los errores en las medidas debido a imprecisiones en el sistema mecánico. En el momento de analizar los resultados se concluyó que todos los instrumentos siempre indicaban medidas mayores a las programadas y para longitudes mayores a 100 metros, el error estaba por encima de la tolerancia establecida por Icobandas S.A (p.ej. En una longitud de 300 metros el error fue de 0,45 metros). Además, se observó que el error se incrementaba a medida que aumentaba la longitud, esto da idea de un error acumulativo incrementado por el giro del eje.

Al tener esta experiencia, surgió una hipótesis acerca de que si los sistemas mecánicos realmente estaban construidos para funcionar con unas ruedas de exactamente 97,03 mm. Para esclarecer este problema se realizaron ensayos a los contadores, que con-

sistieron en controlar vueltas completas en el eje de los sistemas mecánicos, registrar la indicación del contador y calcular cuál debería ser el diámetro de la rueda acoplada al eje del contador para que muestre la indicación; los detalles del ensayo y resultados fueron consignados en ANEXO E. Se concluyó entonces que es muy difícil obtener un diámetro de ruedas exacto y el encontrado experimentalmente es de aproximadamente 96,87 mm. Este diámetro difiere en 0,16 mm de la referencia de 97,03 mm, lo que implica un error en las medias de aproximadamente 0,165 %, el cuál en 400 y 650 metros representaría 0,61 y 1,03 metros más de banda, respectivamente, error que está muy alejado de la tolerancia establecida en la empresa y que representa pérdidas económicas elevadas. Por otra parte, este porcentaje de error es la causa de tener un error acumulativo en las medidas.

Al encontrar una diferencia notable en la construcción supuesta del sistema mecánico y la construcción hallada, se decidió consultar al fabricante de los contadores mecánicos, Veeder Root - Brasil. En el mes de mayo, se envió un correo electrónico el cual describía el problema encontrado en los sistemas mecánicos, se solicitaba que confirmaran un tamaño de ruedas exacto y único, y se adjunto al mensaje el artículo elaborado estudio de verificación de los contadores, ver ANEXO E. Hacia finales de julio, el Supervisor de Calidad de Veeder Root- Brasil, especificó que los contadores mecánicos están diseñados para funcionar con ruedas con un diámetro entre 96,87 mm y 97,13 mm. Teniendo esta información, se pudo concluir que estos contadores mecánicos pueden tener un error instrumental debido al sistema mecánico del 0,26 %, que es muy grande para el proceso productivo de Icobandas S.A. Cabe anotar que este instrumento paso el proceso de evaluación para determinar si este equipo era el adecuado para tomar este tipo de medidas, debido a que la división de escala de los contadores (0,01 m) era mucho mayor que la tolerancia en la medida. Pero por razones de precisión, el instrumento no es indicado para las mediciones.

Para dar solución a este problema, se establecieron dos alternativas: la primera es una acción a corto plazo que consiste en evaluar los contadores y sus ruedas para determinar hasta que longitud es confiable medir. Y la segunda acción, que es a largo plazo, es reemplazar los contadores mecánicos por unos contadores electrónicos. A continuación se detalla cada solución.

Para evaluar la capacidad del instrumento, es necesario realizar mediciones de las ruedas en repetidas oportunidades de manera independiente y obtener un promedio para cada

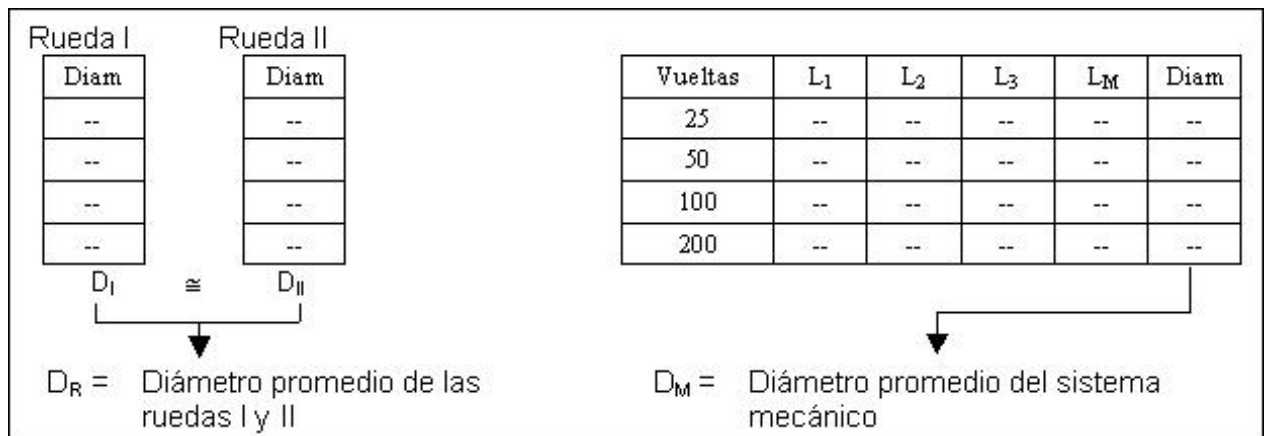


Figura 8.2. Procedimiento para calcular la capacidad de los *Cuentametros*

rueda. Se debe determinar si existe una diferencia mayor a 0,1 mm en las ruedas, en caso afirmativo, debe hacerse un reemplazo en las ruedas para no tener inconvenientes en las medidas por tener ruedas de diferentes tamaños. Si las ruedas son similares se debe obtener un diámetro de las ruedas promedio (D_R). Por otra parte, se debe evaluar cuál debe ser el diámetro de las ruedas que deben estar acopladas al sistema mecánico, esto se logra controlando cantidades de vueltas completas, de manera similar como se muestra en el ANEXO E. De este proceso, se deben promediar los diámetros obtenidos para cada ensayo obteniendo un diámetro del sistema mecánico promedio (D_M).

Para hallar la capacidad de medida de de los *Contadores mecánicos de metros*, es necesario encontrar una formula que dependa de de los diámetros encontrados, D_R y D_M , y del error máximo permitido en las medidas. Veamos el desarrollo que se muestra a continuación.

Definamos L_i como la longitud indicada en el Cuentametros. Las vueltas que debe dar el eje para tener esta indicación debe ser aproximadamente:

$$N = \frac{L_i}{\pi D_M}$$

Pero si el Cuentametros indica una longitud Li y se ha desarrollado la medida con unas ruedas con diámetro D_R , en realidad se estará midiendo una longitud L igual a:

$$L = \pi N D_R = Li \frac{D_R}{D_M}$$

De esta manera, existe un error debido a la diferencia entre D_R y D_M dado por:

$$E = L - Li = Li \left(\frac{D_R}{D_M} - 1 \right) \quad (8.1)$$

Pero si se define un error máximo permitido de $+0,1$ m ($1/3$ de la tolerancia en la medida [55]), entonces la ecuación (8.1) permite calcular la capacidad máxima de medida del instrumento para que el error se encuentre en el límite, con la restricción de que $D_R > D_M$, la cual permite conservar el signo del error. Como resultado se obtiene la ecuación (8.2).

$$Li = 0,1m \frac{D_M}{D_R - D_M} \quad (8.2)$$

De esta manera, se puede aumentar la capacidad de medida del instrumento colocando unas ruedas con un diámetro conveniente. Esta solución es provisional, hasta que se escoja otro sistema de medida para este tipo de medida.

Finalmente, la segunda solución (no desarrollada en la pasantía) consiste en reemplazar los cuentametros por sistemas electrónicos basados igualmente en ruedas pero acoplados

a encoders digitales. Este sistema ofrece una mayor precisión ya que la medida depende expresamente del tamaño de las ruedas y electrónicamente del sistema digital acoplado al encoder. De esta manera, las ruedas pueden tener errores debido a desgaste y el sistema electrónico puede tener fallas debido al sistema eléctrico, pero los cálculos son siempre los mismos sin importar el uso. En el momento se gestiona lo pertinente a la cotización de los instrumentos y posibles configuraciones de la solución.

8.9. PRESIÓN

En el proceso productivo de Icobandas S.A., las bandas transportadoras son vulcanizadas con prensas hidráulicas, y el mecanismo de tensión y movimiento de las bandas en la mayoría de los casos se realiza con mecanismos hidráulicos. Para poder controlar y monitorear las condiciones de operación de las máquinas, son utilizados manómetros tipo Bourdon. Otro sitio donde es necesario tener poco error en las medidas de presión, es en el Laboratorio de Control de Calidad, en donde, en el ensayo de rasgado de bandas la presión es medida por medio de un instrumento denominado *tensiómetro hidráulico (Máquina Universal)*, que utiliza como elemento de medida un transductor piezoeléctrico (ver Fotografía 8.9).

El equipo de verificación implementado en el Laboratorio de Metrología, consiste en un *comparador de manómetros de pistón y manómetros patrón* (Fotografía 8.10), los cuales fueron calibrados en el Laboratorio de Presión de Progen s.a., quienes pertenecen a la Red Metrológica Colombiana y se encuentran certificados por la Superintendencia de Industria y Comercio. El comparador de manómetros fue seleccionado teniendo en cuenta: que maneje presión hidráulica, que genere presiones en el rango de medida de los instrumentos a verificar y tenga las conexiones necesarias para instalar los patrones y los Equipos de Seguimiento y Medición. El comparador de manómetros adquirido tiene las siguientes características:



Fotografía 8.9. Transductor de presión



comparador y manómetros patrón de Icobandas S.A.

Fotografía 8.10. Comparador de manómetros y manómetros patrón

Banco de manómetros:

Marca:	Pressurements
Modelo:	T1200
Rango:	0 - 10000 psi (0 - 700 bar)
Medio de operación:	Aceite
Conexiones:	1/2", 1/4", 3/8", 1/8" NPT

El banco comparador consiste en un pistón unido a un tornillo sin fin, el cual es accionado mediante un timón, el pistón realiza una presión al aceite dentro del tanque, generando la presión requerida tanto en el manómetro patrón como en el manómetro a verificar.

Para la selección de los manómetros patrón a utilizar, se tuvo en cuenta el inventario de los Equipos de Seguimiento y Medición Críticos. En primer lugar se ordenó descendientemente los manómetros de planta según su rango de medición, luego se agruparon en rangos semejantes teniendo en cuenta que el rango del ultimo manómetro del grupo, no sea menor a la mitad del rango del primer equipo del grupo, después se seleccionó el de mejor exactitud por grupo y por ultimo se escogió el manómetro patrón para cada grupo teniendo en cuenta que su rango debía ser igual al de mayor rango del grupo y que su clase de exactitud debía ser por lo menos de cuatro a diez veces mejor, que la de mejor exactitud del grupo. Estas pautas fueron tomadas de la “Práctica de diplomado en presiones” [5] realizada por el Jefe de Mantenimiento. De este procedimiento se escogieron tres manómetros con las siguientes características:

Manómetro patrón 1:

Marca:	Bourdon Haenni
Clase de Exactitud:	0.25 %
Rango:	0 - 5000 psi
División de escala:	50 psi
Conexión:	$\frac{1}{2}$ " NPT

Manómetro patrón 2:

Marca:	Bourdon Haenni
Clase de Exactitud:	0.25 %
Rango:	0 - 2000 psi
División de escala:	10 psi
Conexión:	$\frac{1}{2}$ " NPT

Manómetro patrón 2:

Marca:	Bourdon Haenni
Clase de Exactitud:	0.25 %
Rango:	0 - 1000 psi
División de escala:	5 psi
Conexión:	$\frac{1}{2}$ " NPT

Para elaborar el procedimiento de verificación [37] se tuvieron en cuenta recomendaciones de los fabricantes tanto del comparador de manómetros como de los manómetros patrón, recomendaciones dadas por la norma NTC 1420 [42] y por el documento "Practica de Diplomado en Presiones" [5]. La presión en el manómetro a ensayar es elevada mediante el *comparador de manómetros* a diferentes puntos de verificación, que dependen del manómetro a verificar, luego debe tomarse la lectura del manómetro patrón después de darle un pequeño golpe a este. Posteriormente se calcula el promedio para cada punto y se calcula la clase de exactitud en que se encuentra el manómetro, está debe estar dentro de la clase de exactitud indicada por el fabricante, si no lo está el manómetro no pasará la verificación.

8.10. TEMPERATURA

En Icobandas S.A. la temperatura es de gran importancia, ya que es un componente fundamental en la vulcanización de bandas. Su ubicación dentro del proceso de producción tiene relevancia en las prensas de vulcanización, donde un tramo de banda es prensado en un tiempo de aproximadamente 15 minutos, a una temperatura de $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para que el caucho se una firmemente a la lona. Esta temperatura es medida mediante termómetros bimetálicos generalmente de división de escala de 5°C , con una longitud máxima del bulbo de cuatro (4) pulgadas. Otro de los lugares donde toma importancia la medida de temperatura, es en la fase tratamiento de materia prima de las bandas (caucho y lona), donde la temperatura alcanza valores entre 55°C y $85^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y es medida mediante un termómetros bimetálicos y digitales.

Teniendo en cuenta la anterior información, la selección del equipo para verificación,

consistió en buscar uno que se adecue a los rangos y dimensiones de los termómetros de Icobandas S.A. Esta búsqueda determinó, que el equipo indicado para realizar las verificaciones es un baño térmico. Los baños térmicos existentes en el mercado cumplen con las especificaciones requeridas, pero su costo es muy elevado (al rededor de \$4000 US), pues estos son utilizados generalmente para calibración. Debido a esto y a que en Icobandas S.A. no se realizarán calibraciones, sino verificaciones, se decidió construir un baño térmico que cumpla con las especificaciones técnicas a un costo inferior.

El diseño del baño comenzó con la revisión de la información obtenida acerca de los baños térmicos comerciales y los referenciados en la literatura [41] [49], obteniendo de esta manera características como: dimensiones, métodos de homogenización y métodos para el control de temperatura. De esta manera, se determinó que los baños térmicos constan generalmente de una resistencia de inmersión, la cual eleva la temperatura de un fluido contenida en un tanque, regulada mediante un controlador PID. La homogenización de la temperatura se lleva a cabo generalmente con el uso de un agitador de hélice, que permite minimizar los gradientes de temperatura en el fluido.

Conociendo los componentes básicos de un baño térmico, se inició con el diseño de cada uno de estos, comenzando con el tanque, el cual debía contener el fluido a calentar, el termómetro a verificar, el termómetro patrón y los elementos de calentamiento y enfriamiento del aceite. Además para que la verificación de termómetros sea mucho más eficiente, se decidió que el tanque debía contener tres termómetros, dos a verificar y el termómetro patrón, por lo que se tuvo que tener en cuenta las dimensiones máximas de los termómetros de Icobandas S.A., como diámetros de carátula y longitudes de los elementos de medida (hasta de cuatro pulgadas).

Partiendo de estas dimensiones, se diseñó y elaboró un tanque cilíndrico en acero inoxidable con un diámetro de 22 cm y una profundidad de 25 cm (ver Figura 8.3 y Fotografía 8.11). Con estas dimensiones se tiene un espacio suficiente para introducir los termómetros y los otros componentes del baño. Adicionalmente, por seguridad y para evitar el flujo excesivo de calor hacia el ambiente, el tanque fue aislado térmicamente. Más adelante se presentan los detalles.



Figura 8.3. Diseño del Tanque



Fotografía del Tanque

Fotografía 8.11. Tanque elaborado

Los *baños térmicos* comerciales utilizan como fluido aceite de silicona, el cual brinda estabilidad, uniformidad y amplios rangos de temperatura. Este tipo de aceite, debido a sus propiedades termodinámicas, es comunmente utilizado para calibraciones de termómetros. Por este motivo, su costo es elevado y utilizarlo en el baño térmico diseñado, implicaría tener que invertir mucho dinero en su compra e importación, debido a que en el país no se encuentra disponible. Por este motivo se buscaron otras alternativas con otro tipo de fluido que brinde estas mismas ventajas y sea de fácil consecución en el país. El fluido cotizado es distribuido por la empresa SHELL de Colombia y su nombre es SHEEL THERMIA B, el cual es un *aceite térmico* utilizado para transferencia de calor en sistemas cerrados donde las temperaturas requeridas para la operación no pueden ser alcanzadas mediante la instalación sencilla de calderas de vapor, además es muy utilizado en la industria textil. Este aceite tiene una gran estabilidad térmica, altos coeficientes de transferencia de calor, baja volatilidad, no es corrosivo, no es tóxico

y esta elaborado a partir de bases parafínicas. Su rango de operación esta dado por su punto de inflamación que tiene un valor de 220 °C.

Para elevar la temperatura se seleccionó una *resistencia de inmersión* de 1500 Vatios a 220 Voltios, la cual fue elaborada por la empresa Colombiana de Resistencias en Cali. La resistencia tiene 18 cm de diámetro y dos conexiones de 1/3 de pulgada. La potencia de la resistencia permite elevar la temperatura del aceite desde temperatura ambiente de 20°C a 200°C en 30 minutos aproximadamente. Este tiempo se determinó teóricamente por medio del procedimiento mostrado en la sección 8.10.1 en el que se utilizan características térmicas del aceite(para conocer estas características remitase al ANEXO F) y las dimensiones del baño, y experimentalmente por medio de curvas de respuesta de temperatura vs tiempo, las cuales se mencionarán luego en la sección 8.10.2. Esta resistencia fue ubicada en la parte inferior del tanque, de forma horizontal para permitir que el flujo de calor ascienda y se homogenice en el área donde se encuentran los termómetros con la ayuda de un agitador.

Para elevar la temperatura del aceite térmico a un punto específico, la potencia aplicada a la resistencia de inmersión es regulada mediante un *controlador de temperatura digital Autonics TZN4S* (ver Fotografía 8.12), el cual monitorea la temperatura con una *sonda de resistencia RTD Pt100* (ver Fotografía 8.13) insertada lateralmente en el tanque y dependiendo de este valor, el controlador entrega la señal necesaria a través de una salida con relé de tres Amperios a 220 Voltios. Debido a que el relé del controlador no maneja la potencia requerida, pues la resistencia de inmersión requiere una corriente de aproximadamente siete Amperios (1500W/220VAC), se adiciono en serie al circuito un *relé de estado sólido* que puede manejar corrientes de hasta 25 Amperios a 220 Voltios. El controlador puede realizar acciones de control ON-OFF, proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (D) y proporcional-integral-derivativo (PID,) mediante el ajuste de las constantes respectivas K_p , T_i , T_d (remítase al ANEXO F). Además los parámetros del PID pueden autosintonizarse con la función Autotuning del controlador (remítase al ANEXO F).



Autonics TZN4S

Fotografía 8.12. Controlador de temperatura digital



PT100

Fotografía 8.13. Sonda de resistencia

La homogenización de la temperatura es lograda con la agitación del aceite. Esta agitación es obtenida por medio del giro de una *hélice* acoplada a un *motor neumático* (ver Fotografía 8.14). El motor utilizado se encontraba en la empresa sin uso y anteriormente fue utilizado para el mezclado de productos químicos para el proceso de tratamiento de lonas. La hélice fue elaborada por empleados de Icobandas S.A. en el taller de mantenimiento de la empresa. Para controlar la velocidad de agitación, se regula la presión a la entrada neumática del motor por medio de una válvula de estrangulamiento (ver Fotografía 8.14).



Agitador

Fotografía 8.14. Motor neumático, helice y válvula de estrangulamiento

Para disminuir la temperatura en el aceite, el tanque cuenta con un *intercambiador de calor* construido en tubo de cobre de un tercio de pulgada, y una longitud de cinco metros. El intercambiador es un serpentín que rodea el interior del tanque y mediante el flujo de agua a temperatura ambiente en el interior del tubo de cobre (ver Fotografía 8.15), la temperatura en el interior del baño se reduce. El agua utilizada en la refrigeración ingresa al intercambiador por medio de dos mangueras de alta temperatura y dos conectores para manguera ubicados en el exterior del tanque (ver Fotografía 8.15).

Debido a que la temperatura máxima que se puede alcanzar con el baño térmico es de 199,9°C (ver ANEXO F), el tanque fue aislado térmicamente en la parte lateral con una capa en *lana de vidrio* de una pulgada de espesor, para evitar un transferencia de calor al medio ambiente. En la parte de inferior del tanque, fue colocada una *lámina de asbesto* con un espesor de aproximadamente 1/2 pulgada. Para contener el aislamiento térmico junto con el tanque, este dispone de un esqueleto hecho en barilla de hierro recubierto en lámina de zinc (ver Fotografía 8.15)



Construcción interna y externa

Fotografía 8.15. Intercambiador de calor y recubrimiento externo

Finalmente para la verificación de los termómetros fue comprado e instalado en el baño térmico, un *termómetro patrón bimetálico* (Fotografía 8.16), marca Bourdon Haenni con división de escala de dos grados centígrados, longitud del bulbo de 85mm, con un rango de cero a 200°C y diámetro de carátula de cinco pulgadas. Este termómetro fue suministrado y certificado por Termometria Colombiana s.a. (Thermometric) quienes se encuentran certificados por la Superintendencia de Industria y Comercio.



Termómetro Bourdon Haenni

Fotografía 8.16. Termometro bimetálico patrón

El equipo construido con todos sus componentes es mostrado en la siguiente fotografía:



Baño térmico de Icobandas S.A

Fotografía 8.17. Baño térmico

Todas las características técnicas de todos los elementos considerados en el diseño y el procedimiento general para la verificación de termómetros son mostrados en el ANEXO F “Manual de Operación del Baño Térmico”.

8.10.1. Cálculo del tiempo de elevación de temperatura.

Para aumentar la temperatura de una sustancia de masa m a ΔT grados se necesita un flujo de calor Q :

$$Q = mC_p\Delta T \quad (8.3)$$

donde C_p es el calor específico de la sustancia a la temperatura media de la misma.

Luego se calculó el volúmen V del tanque, como:

$$V = \frac{\pi}{4}D^2L = \frac{\pi}{4}(0,206\text{ m})^2 \cdot 0,25\text{ m} = 8,33 \times 10^{-3}\text{ m}^3 \quad (8.4)$$

La densidad ρ del aceite Shell Thermia B a la temperatura media ($230^\circ F = 110^\circ C$, ver ANEXO F) tiene un valor de $818 \frac{kg}{m^3}$.

Por lo tanto la masa m contenida en el tanque es:

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot V & (8.5) \\ m &= 818 \frac{kg}{m^3} \cdot 8,33 \times 10^{-3}\text{ m}^3 \\ m &= 6,813\text{ kg} \end{aligned}$$

Debido a que la capacidad calorífica es una función dependiente con la temperatura, se determinó una función lineal (por simplicidad en el problema) mediante las capacidades caloríficas del aceite a diferentes temperaturas dadas por el fabricante (ver ANEXO F); de esta función podemos obtener la capacidad calorífica del aceite a la temperatura media:

$$C_p = 0,4142 + 0,000475 T \frac{Cal}{g \cdot ^\circ C} \text{ Con } T \text{ en grados Farenheit } (^{\circ}F) \quad (8.6)$$

A 230°F la capacidad calorifica del aceite es:

$$C_p = 0,4142 + 0,000475 \cdot (230) \frac{Cal}{g \cdot ^\circ C}$$

$$C_p = 0,523 \frac{Cal}{g \cdot ^\circ C}$$

$$C_p = 2189 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Por lo tanto la cantidad de energía en forma de calor necesaria para elevar el aceite de 20°C a 200°C es:

$$Q = 6,813 \cdot 2189 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 180^{\circ}C$$

$$Q = 2684,46 (kJ)$$

Ahora, la potencia P que es entregada al aceite en un tiempo t por la resistencia de inmersión tiene un valor de 1500W y entonces la energía E entregada sera:

$$E = P \times t \quad (8.7)$$

Esta energía E , por el principio de conservación de energía, será igual a la energía Q encontrada anteriormente, por lo tanto el tiempo que necesita la resistencia para elevar la temperatura del aceite desde 20°C a 200°C a la potencia máxima es:

$$t = \frac{Q}{P} (s) \quad (8.8)$$

$$t = \frac{2684,46 \text{ kJ}}{1500 \text{ W}}$$

$$t = 1789,64 (s) = 29,8 \text{ minutos} \quad (8.9)$$

8.10.2. Resultados experimentales del Baño Térmico.

Para colocar en funcionamiento el baño térmico para realizar las verificaciones correspondientes, se realizó antes, una sintonización del controlador. Para ello se utilizó la función de autotunig del controlador a diferentes puntos de operación, posteriormente se determinó cual de estas sintonizaciones brindaba un mejor desempeño en cuanto a tiempo y estabilización de temperatura. Posteriormente se realizó un monitoreo de la temperatura con respecto al tiempo mediante una adquisición computarizada de datos (ver Fotografía 8.18), esto se logró por medio de una sonda de resistencia y una tarjeta de adquisición de datos construida con un microcontrolador PIC18F452 y una interfaz RS232. La captura de datos en el computador se realizó por medio del software Labview 6i.



Captura computarizada en Icobandas S.A

Fotografía 8.18. Prueba de estabilidad

Se realizaron curvas de calentamiento a las siguientes temperaturas: 60°C, 80°C, 100°C y 150°C partiendo de una temperatura base de 40°C. Las curvas de calentamiento obtenidas se pueden observar en la Figura 8.4.

Puede verse en la Figura 8.4 que la temperatura se establece al punto de operación deseado sin oscilaciones y con un tiempo de aproximadamente 30 minutos. Estas condiciones de operación son fundamentales en un baño térmico y para la aplicación deseada el resultado es satisfactorio.

Se realizó dos pruebas de enfriamiento partiendo de temperaturas de 130°C y 150°C hasta llegar a una temperatura de 40°C. En estas pruebas el motor del agitador se colocó a su máxima velocidad y se introdujo agua al intercambiador con un flujo alto en la primera prueba y un flujo medio en la segunda. Las curvas pueden verse en la Figura 8.5.

Comportamiento a diferentes puntos de operación del
Baño térmico - Icobandas s.a.

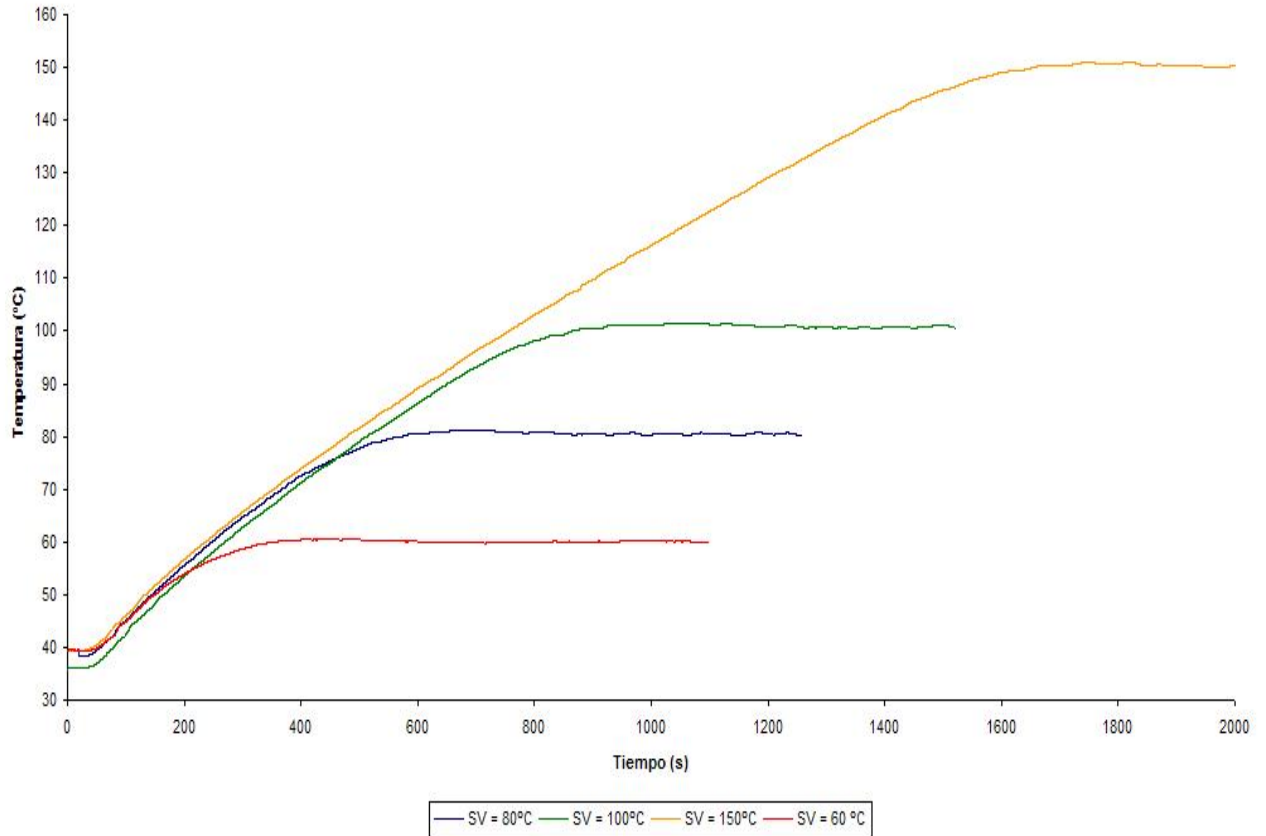


Figura 8.4. Curvas de calentamiento del baño térmico

Puede verse que la temperatura decrece hasta 40°C en un tiempo máximo de 15 minutos, aunque esto dependerá del flujo de agua y la temperatura a la cual se desee enfriar. El agua que sale del intercambiador de calor es drenada a una tubería del acueducto.

Con estos resultados, se puede estimar que el tiempo necesario para realizar una verificación puede estar entre las tres horas, pues la verificación abarcará diferentes temperaturas, dependiendo del rango de operación del termómetro.

Enfriamiento en el Baño Térmico con flujo de agua alto y medio

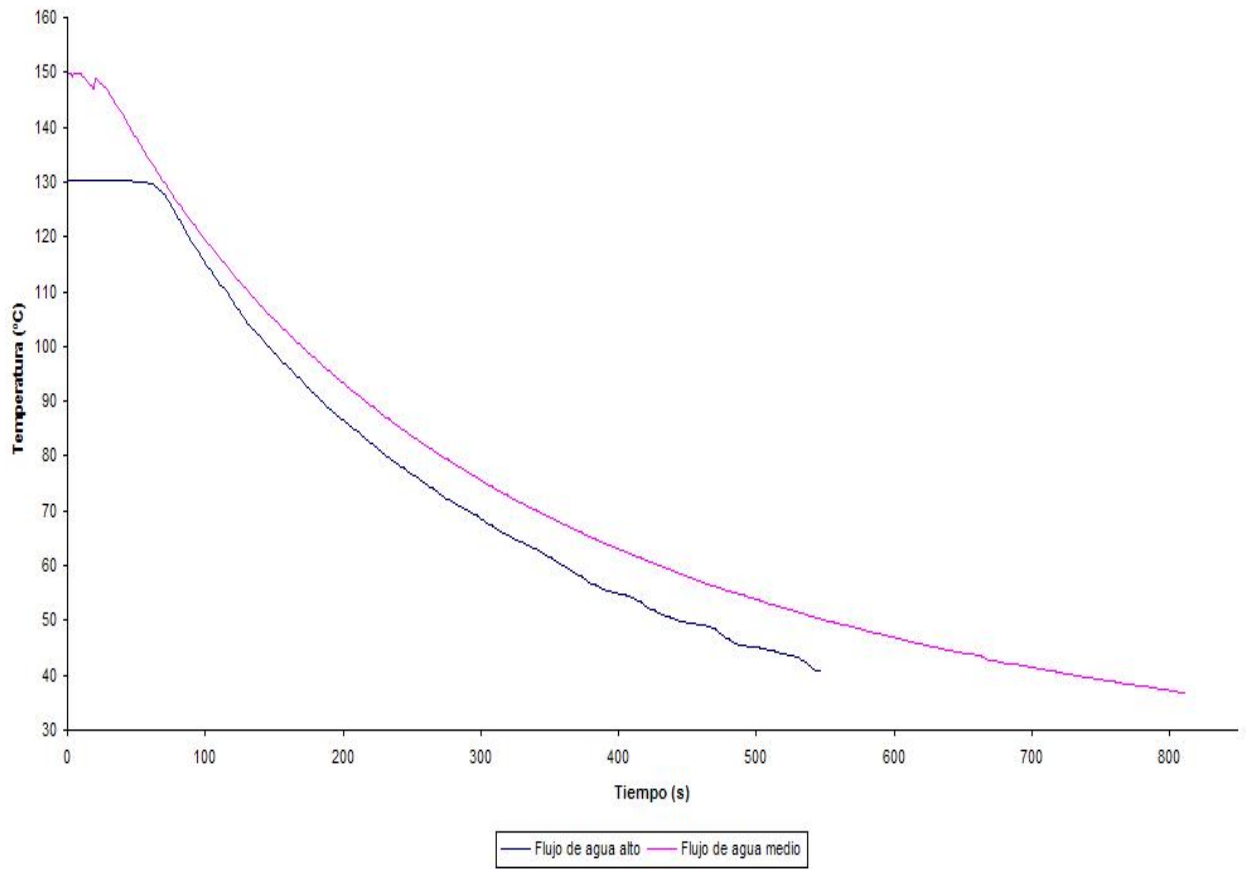


Figura 8.5. Curva de enfriamiento del baño térmico

9. CONCLUSIONES

Con el trabajo realizado en la pasantía, utilizando el inventario realizado, fueron definidas para Icobandas S.A, las principales características de los Equipos de Seguimiento y Medición Críticos tales como rango, resolución, división de escala, además, mediante el listado de variables de medición se logró determinar cuales equipos tienen la precisión requerida, para el posterior ajuste o cambio de estos; gracias a lo mencionado anteriormente se realizó junto con el Jefe de Mantenimiento el diseño, cotización y compra de todo el equipo necesario para el laboratorio de metrología.

Por medio de los instructivos elaborados se garantizará un uso adecuado de los Equipos de Seguimiento y Medición, su preservación y un correcto método de medición. Estos documentos fueron puestos en conocimiento del personal de Icobandas S.A. mediante seminarios teórico-prácticos.

Con el trabajo en la pasantía, se logró para Icobandas S.A. la implementación total del laboratorio de metrología, proporcionando el equipo necesario, su documentación y los procedimientos correspondientes para realizar las distintas verificaciones de los Equipos de Seguimiento y Medición críticos.

Con la documentación específica del laboratorio de metrología y su divulgación al Metrólogo de Icobandas S.A. se logró que este se encuentre capacitado y tenga las herramientas bibliográficas necesarias para realizar su trabajo.

La implementación de los equipos del laboratorio de metrología se logro con un trabajo eficiente lo que implicó reducción en costos y tiempo para Icobandas S.A.

Se logro identificar problemas de precisión en algunos de los Equipos de Seguimiento y Medición gracias a las verificaciones con los equipos implementados en el laboratorio de metrología como en el caso de los contadores mecánicos de metros, algunas marcas de flexómetros y transductor de presión de la Maquina Universal.

Gracias a la implementación de todos los equipos necesarios en el laboratorio de metrología y la elaboración de los respectivos procedimientos de verificación, se logró cumplir con el requisito 7.6 de la norma ISO 9000 y realizar el control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición de Icobandas S.A. en cada una de sus variables físicas críticas. Pues en pre-auditoria realizada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, el laboratorio de metrología obtuvo la validación.

Se logró gracias al trabajo de pasantía, apoyar a una de las empresas más importantes del Cauca en el mejoramiento de la calidad de sus productos y de su proceso productivo en cuanto a las mediciones.

Mediante el trabajo de pasantía se muestra al Ingeniero Físico a la industria como un profesional con las capacidades suficientes para realizar este tipo de trabajos, optimizando tiempo y recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AUTONICS CORPORATION. Temperatura Controller Manual, TZN4S Series.
- [2] CALCE; University of Maryland. Material Hardness. 2001. En: http://www.calce.umd.edu/general/Facilities/Hardness_ad_.htm
- [3] CORPORACIÓN METROCALIDAD. Diplomado en metrología. Cali, Colombia, 2002.
- [4] CORPORACIÓN METROCALIDAD; UNIVALLE; Muñoz, L. Pasantía básica en mediciones longitudinales. Cali, Colombia, 2003.
- [5] CORPORACIÓN METROCALIDAD; UNIVALLE; Muñoz, L. Práctica de diplomado en presiones. Cali, Colombia, 2003.
- [6] CORPORACIÓN METROCALIDAD; UNIVALLE; Viveros, I. Práctica en masa y balanza. Cali, Colombia, 2003.
- [7] KARLEKAR, B. V. DESMOND, R. M. Transferencia de calor. México. Interamericana. 1985
- [8] GIRONZA, H. Instrumentación Industrial. FIET, Universidad del Cauca. Colombia, 1997.
- [9] GONZÁLEZ, Carlos; ZELENY, Ramón. Metrología. Segunda edición, Editorial McGrawHill, México, 1999.
- [10] ICOBANDAS S.A. IN-GM-01, Uso y manejo de la Balanza de platón. Colombia, 2004.
- [11] ICOBANDAS S.A. IN-GM-02, Uso y manejo de la Balanza de AND EP-12KA. Colombia, 2004.
- [12] ICOBANDAS S.A. IN-GM-03, Uso y manejo de la Balanza de METTLER TOLEDO SPIDER 1-35. Colombia, 2004.

- [13] ICOBANDAS S.A. IN-GM-04, Uso y manejo de la Balanza de SARTORIUS H 160. Colombia, 2004.
- [14] ICOBANDAS S.A. IN-GM-05, Uso y manejo de la Bascula de piso. Colombia, 2004.
- [15] ICOBANDAS S.A. IN-GM-06, Uso y manejo del Calibrador de lonas. Colombia, 2004.
- [16] ICOBANDAS S.A. IN-GM-07, Uso y manejo del Cuentametros. Colombia, 2004.
- [17] ICOBANDAS S.A. IN-GM-08, Uso y manejo del Decámetro. Colombia, 2004.
- [18] ICOBANDAS S.A. IN-GM-09, Uso y manejo del Durómetro. Colombia, 2004.
- [19] ICOBANDAS S.A. IN-GM-10, Uso y manejo del Flexómetro. Colombia, 2004.
- [20] ICOBANDAS S.A. IN-GM-11, Uso y manejo del Hidrómetro. Colombia, 2004.
- [21] ICOBANDAS S.A. IN-GM-12, Uso y manejo del Manómetro. Colombia, 2004.
- [22] ICOBANDAS S.A. IN-GM-13, Uso y manejo del Micrómetro. Colombia, 2004.
- [23] ICOBANDAS S.A. IN-GM-14, Uso y manejo del Nivel de precisión. Colombia, 2004.
- [24] ICOBANDAS S.A. IN-GM-15, Uso y manejo del Pie de Rey. Colombia, 2004.
- [25] ICOBANDAS S.A. IN-GM-16, Uso y manejo del Presóstato. Colombia, 2004.
- [26] ICOBANDAS S.A. IN-GM-17, Uso y manejo del Tensiómetro electrónico. Colombia, 2004.
- [27] ICOBANDAS S.A. IN-GM-18, Uso y manejo del Tensiómetro hidráulico. Colombia, 2004.
- [28] ICOBANDAS S.A. IN-GM-19, Uso y manejo del Termómetro BARNANT 90. Colombia, 2004.
- [29] ICOBANDAS S.A. IN-GM-20, Uso y manejo del Termómetro bimetalico. Colombia, 2004.
- [30] ICOBANDAS S.A. IN-GM-21, Instructivo para realizar verificaciones en el laboratorio de metrología. Colombia, 2004.
- [31] ICOBANDAS S.A. IN-GM-22, Instructivo para le preservacion de patrones. Colombia, 2004.

- [32] ICOBANDAS S.A. PR-GM-04, Verificación de la Balanza electrónica. Colombia, 2004.
- [33] ICOBANDAS S.A. PR-GM-05, Verificación del Cuentametros. Colombia, 2004.
- [34] ICOBANDAS S.A. PR-GM-06, Verificación del Decámetro. Colombia, 2004.
- [35] ICOBANDAS S.A. PR-GM-07, Verificación del Durómetro. Colombia, 2004.
- [36] ICOBANDAS S.A. PR-GM-08, Verificación del Flexómetro. Colombia, 2004.
- [37] ICOBANDAS S.A. PR-GM-09, Verificación del Manómetro. Colombia, 2004.
- [38] ICOBANDAS S.A. PR-GM-11, Verificación del Pie de rey. Colombia, 2004.
- [39] ICOBANDAS S.A. PR-GM-13, Verificación del Tensiómetro hidráulico. Colombia, 2004.
- [40] ICOBANDAS S.A. PR-GM-14, Verificación de Termómetros. Colombia, 2004.
- [41] CREUS, A. Instrumentación Industrial. Ed. Alfaomaga Grupo Editor S.A., Colombia, 2000. p: 601-623
- [42] ICONTEC. NTC-1420: Manómetros, Parte 1, Manómetros tipo Bourdon, Dimensiones, requisitos y ensayos. Colombia, 2001.
- [43] ICONTEC. NTC-1724: Metrología, Cintas métricas comerciales. Colombia, 1987.
- [44] ICONTEC. NTC-1848: Pesas de precisión E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3. Colombia, 1997.
- [45] ICONTEC. NTC-2031: Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático. requisitos metroológicos y técnicos. ensayos. Colombia, 2002.
- [46] ICONTEC. NTC-4303: Pie de Rey, Requisitos y ensayos. Colombia, 1997.
- [47] ICONTEC. NTC-4055: Metrología en la empresa, modalidades practicas para la elaboración de procedimientos de calibración y comprobación de los medios de medición. Colombia, 1996.
- [48] ICONTEC. NTC-4227: Máquinas de ensayo, Verificación de tensión, compresión y flexión. Colombia, 1997.
- [49] ICONTEC. NTC-4476: Métodos de ensayo para la inspección y verificación de termómetros. Colombia, 1998.
- [50] ICONTEC. NTC-ISO 9004: Sistemas de gestión de la calidad, Directivas para la mejora del desempeño. Colombia, 2000.

- [51] ICONTEC. NTC-ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad, Fundamentos y vocabulario. Colombia, 2000.
- [52] ICONTEC. NTC-ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad, Requisitos. Colombia, 2000.
- [53] Instron Corporation Headquarters. Hardness Test. 1997. En: http://www.instron.com/applications/test_types/hardness/index.asp
- [54] Instron Corporation Headquarters. Shore and IRDH Test. 1997. En: http://www.instron.com/applications/test_types/hardness/irhd.asp
- [55] ISO. ISO 10012: Measurement management Systems, Requeriments form measurement processes and measuring equipment. First edition. Switzerland, 2003.
- [56] ISO/IEC. ISO/IEC 17025: General requeriments for the competence of testing and calibration laboratories. First edition. Switzerland, 1999.
- [57] MatWeb. Shore (Durometer) Hardness Testing of Plastics. En: <http://www.matweb.com/reference/shore-hardness.asp>
- [58] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guía Metas, ¿Por qué calibrar?. Año 02 # 01, 2002 Enero. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-01.pdf>
- [59] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guía Metas, Aplicación Metrológica de los estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). Año 03 # 11, 2003 Noviembre. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-11-r&R.pdf>
- [60] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guía Metas, Confirmación metrológica. Año 02 # 02, 2002 Febrero. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-02.pdf>
- [61] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guia Metas, Criterios para declaración de conformidad. Año 03 # 06, 2003 Junio. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-06-Conf.pdf>
- [62] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guia Metas, Evaluación de consistencia metrológica. Año 02 # 10, 2002 Octubre. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-10-Consist.pdf>
- [63] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guía Metas, Humedad relativa glosario. Año 01 # 03, 2001 Diciembre. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-01-12.pdf>

- [64] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guia Metas, Termómetro de resistencia de platino. Año 02 # 11, 2002 Noviembre. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-11-RTD.pdf>
- [65] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guía Metas, Termopares. Año 02 # 07, 2002 Julio. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>
- [66] METAS S.A DE C.V. METROLOGOS ASOCIADOS. La Guia Metas, Trazabilidad Metrológica en sistemas de calidad. Año 03 # 04, 2003 Abril. En: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-04.pdf>
- [67] MICROCHIP TECHNOLOGY. MPLAB C18, C Compiler Libraries (DS51297B). Microchip, 2003.
- [68] MICROCHIP TECHNOLOGY. MPLAB C18, C Compiler User's Guide (DS51288B). Microchip, 2003.
- [69] MICROCHIP TECHNOLOGY. PIC18FXX2 Data Sheet (DS39564B). Microchip, 2002.
- [70] National Physical Laboratory. Rubber Hardness. 2004. En: <http://www.npl.co.uk/force/guidance/hardness/rubber.html>
- [71] OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. 3ed. México. Prentice Hall. 1998.
- [72] UV Process Supply Inc. ASTM D2240: Durometer Shore A Instruction Manual, Part #N006-002. 1998
- [73] SEARS, SEMANZKY, YOUNG. Física Univeristaria. 3ed. México. McGraw Hill. 1996.
- [74] SENDEL, Yunus A. Boles, Michael A. Termodinámica. 2ed. México. McGraw Hill. 1999.
- [75] TIPPENS, P. Física I. Ed. McGraw Hill. México, 1993. p:24-25
- [76] Veeder Root. Pagina Web: <http://www.veeder.com.br/espanhol/produtos/Controle/Catalogo/1953.asp>

ANEXO A.

INSTRUCTIVO EJEMPLO

ANEXO B.

PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN EJEMPLO

ANEXO C.

PROTOCOLO DE VERIFICACIONES INTERNAS PARA EQUIPOS CRÍTICOS

ANEXO D.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL VERIFICADOR DE CUENTAMÉTROS

ANEXO E.

ESTUDIO PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS CONTADORES MECÁNICOS
VEEDER ROOT SERIE 1935

ANEXO F.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL BAÑO TÉRMICO