



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

DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS

Byron Eduardo Orozco Miranda

Asesorado por el Ing. Aldo Estuardo García Morales

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BYRON EDUARDO OROZCO MIRANDA

ASESORADO POR EL ING. ALDO ESTUARDO GARCÍA MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford de Hernández
EXAMINADOR	Ing. Aldo Ozaeta Santiago
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha julio de 2013.


Byron Eduardo Orozco Miranda

Guatemala, 08 de abril de 2015

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS, elaborado por el estudiante Byron Eduardo Orozco Miranda, con carné 90-40773, previo a obtener el título de Ingeniero Industrial.

Habiendo determinando que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos de la Facultad de Ingeniería, y reconociendo la importancia del tema. Por todo lo anterior tanto el autor como el asesor somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de graduación y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO, agregado que lo encuentro completamente satisfactorio.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Aldo Estuardo García Morales
Colegiado No. 2025

ASESOR

Ing. Aldo Estuardo García Morales
Colegiado No. 2025



REF.REV.EMI.078.015

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS**, presentado por el estudiante universitario **Byron Eduardo Orozco Miranda**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Danilo González Trejo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2015.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación **DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS**, presentado por el estudiante universitario **Byron Eduardo Orozco Miranda**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2015.

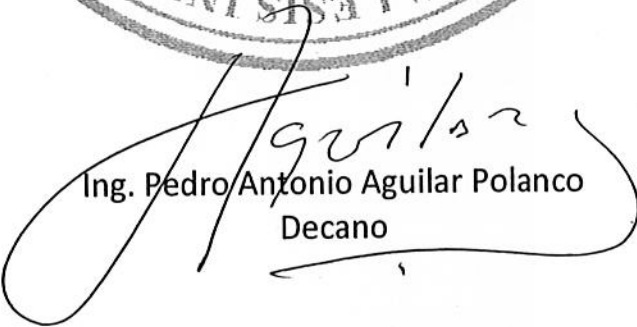
/mgp



DTG. 374.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS**, presentado por el estudiante universitario: **Byron Eduardo Orozco Miranda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, 3 de agosto de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Ser supremo que me ha permitido la vida y que ha guiado mi camino durante este tiempo.
- Mis padres** Gustavo Orozco y Oralia Miranda de Orozco, con todo mi amor, por su esfuerzo, comprensión y cariño. Mil gracias por todo.
- Mi esposa** Ángela Colop, por su amor, apoyo y comprensión en los momentos difíciles. Gracias, la quiero mucho.
- Mi hijo** Eduardo Sebastián Orozco, por llenar de alegría mi vida y que esto sea un ejemplo para él.
- Mis hermanos** Gustavo Adolfo (q. e. p. d.), Gabriel y Mónica Orozco Miranda, gracias hermanos por su apoyo y cariño incondicional siempre.
- Mis tíos** Por sus consejos y muestras de cariño; en especial a mis tíos Raymundo y Marleny Orozco, por darme su apoyo cuando más lo necesité.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por darme la oportunidad de forjarme y de aprender a servir a mi país.

Facultad de Ingeniería

Fuente fundamental para la formación de profesionales de éxito.

**Ing. Aldo Estuardo
García Morales**

Por su comprensión, paciencia y consejos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	1
1.1. Descripción de la norma o recomendación internacional	1
OIML R 111	1
1.2. Inventario actual del equipo o instrumento de medición	2
1.3. Especificaciones de la capacidad y precisión de las balanzas	4
1.3.1. Clases de exactitud de las balanzas o instrumentos de pesaje.....	4
1.3.2. Valor de una división de escala de verificación	5
1.3.3. Clasificación de los instrumentos.....	6
1.3.4. Dispositivos auxiliares de indicación.....	7
1.3.4.1. Tipo y aplicación	7
1.3.4.2. Valor de una división de escala de verificación.....	8
1.3.4.3. Capacidad mínima.....	8
1.3.4.4. Número mínimo de divisiones de escala de verificación	9

1.3.5.	Errores máximos permitidos.....	9
1.3.5.1.	Valor de los errores máximos permitidos en la verificación inicial	11
1.3.5.2.	Valor de los errores máximos permitidos en el servicio	11
1.3.6.	Diferencias permitidas entre los resultados.....	12
1.3.6.1.	Repetibilidad.....	12
1.3.6.2.	Excentricidad de la carga	13
1.4.	Requerimientos de exactitud para patrones de verificación	13
1.4.1.	Pesas	14
1.4.2.	Dispositivo de verificación auxiliar	14
1.4.3.	Sustitución de pesas patrón	14
1.5.	Requerimiento para exactitud de los patrones de masa o pesas.....	15
1.5.1.	Valores nominales.....	17
1.5.2.	Secuencia de pesas	17
1.6.	Trazabilidad de los patrones de referencia y verificación	18
1.7.	Tolerancias máximas aceptadas de las masas o pesas	20
1.7.1.	Tolerancias de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML).....	20
1.7.2.	Errores máximos permisibles en la verificación.....	21
1.7.2.1.	Los errores máximos permisibles en la verificación inicial y verificación posterior o la inspección durante el servicio	22
1.7.2.2.	Incertidumbre expandida.....	22
1.7.2.3.	Masa convencional.....	23
1.8.	Tipo de material, forma y composición de las masas o pesas.....	24

1.8.1.	Generalidades	24
1.8.2.	Pesas de 1 gramo o menos	24
1.8.3.	Pesas de 1 gramo hasta 50 kilogramos.....	26
1.8.4.	Pesas de 50 kilogramos o más.....	27
1.8.5.	Construcción, material y superficie	27
1.8.5.1.	Pesas de clase E	27
1.8.5.2.	Pesas de clase F	28
1.8.5.3.	Pesas de clase M	29
1.8.5.4.	Pesas de clase M ₁ , M ₂ y M ₃ de 50 kilogramos o menos.....	30
2.	LINEAMIENTOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	31
2.1.	Descripción de la norma o recomendación internacional	31
	OIML G -13.....	31
2.1.1.	Antecedentes para la planificación	31
2.1.2.	Planificación de la metrología	32
2.1.3.	Disposición general de los laboratorios de metrología.....	33
2.2.	Condiciones ambientales para las instalaciones	34
2.2.1.	Requisitos especiales de aire acondicionado para metrología.....	35
2.3.	Control de la temperatura	36
2.4.	Control de la humedad relativa.....	37
2.5.	Partículas de polvo	38
2.5.1.	Presión atmosférica	39
2.5.2.	Control de la limpieza	39
2.6.	Protección contra incendios.....	40

3.	IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA PARA EL LABORATORIO.....	43
3.1.	Ubicación	43
3.2.	Delimitación del área y sus dimensiones	44
3.2.1.	Dimensiones.....	45
3.3.	Requisitos de los sistemas de suelo	48
3.3.1.	Cubierta del piso	49
3.3.2.	Vibración	50
3.4.	Requisitos técnicos en la construcción.....	51
3.4.1.	Las ventanas	52
3.4.2.	Los pasillos.....	52
3.4.3.	Estimados del espacio necesario	53
3.5.	Fuentes de energía eléctrica	54
3.5.1.	Requisitos del suministro eléctrico	54
3.6.	Iluminación	55
3.6.1.	Tipos de iluminación para interiores.....	56
3.6.2.	Iluminación de seguridad y alumbrado de	56
	emergencia	56
3.6.3.	Mantenimiento y factor de mantenimiento.....	57
3.7.	Ventilación.....	58
3.8.	Señalización de las áreas internas.....	59
3.8.1.	Extintores	60
3.8.2.	Botiquín de primeros auxilios	60
3.8.3.	Salidas de emergencia en el laboratorio	61
4.	DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.....	63
4.1.	Distribución a través del diagrama de relaciones de espacio...64	
4.1.1.	Uso del diagrama de relaciones de espacio estructurado	65

	4.1.1.1.	Distribución del equipo siguiendo las fases de un proceso	67
4.2.		Área de almacenaje para las masas patrón y equipo de medición	69
	4.2.1.	Área de almacenaje de masas finas e higrotermómetros.....	70
	4.2.2.	Área de almacenaje para las masas de alto alcance	71
4.3.		Análisis de equipos sensibles.....	71
	4.3.1.	Balanzas de alta exactitud.....	72
	4.3.2.	Masas patrones	73
4.4.		Limitaciones prácticas	75
	4.4.1.	Limitaciones físicas.....	76
	4.4.2.	Limitaciones técnicas.....	77
	4.4.3.	Limitaciones de acceso	78
	4.4.4.	Limitaciones en el diseño	78
4.5.		Implementación del equipo de medición en el laboratorio.....	79
5.		EVALUACIÓN DE LOS COSTOS	83
	5.1.	Recursos financieros	85
	5.2.	Costo del equipamiento de acuerdo a las características técnicas	86
	5.2.1.	Comparadores de masas	87
	5.2.2.	Balanza analítica o comparador CPA 225D.....	87
	5.2.3.	Termohigrómetros digitales	89
	5.3.	Costo del funcionamiento del laboratorio	90
	5.3.1.	Mano de obra.....	91
	5.3.2.	Materiales e insumos.....	92

5.4.	Costo del mantenimiento (limpieza, pintura, aire acondicionado).....	93
5.4.1.	Estrategias de mantenimiento	93
5.5.	Relación del costo-beneficio	96
5.5.1.	Costo de inversión.....	98
5.5.2.	Evaluación del potencial de venta del servicio	99
5.5.3.	Beneficio en la Implementación del laboratorio	100
CONCLUSIONES.....		101
RECOMENDACIONES		103
BIBLIOGRAFÍA.....		105
ANEXOS.....		107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación gráfica de los errores máximos permitidos.....	10
2.	Modelo de las pesas de 1 gramo	25
3.	Instrumento para la medición de temperatura y humedad	38
4.	Ejemplo de laboratorio limpio y ordenado	40
5.	Propuesta opción uno, para diseño de laboratorio	46
6.	Propuesta opción uno diseño planta baja	46
7.	Propuesta opción dos para diseño de laboratorio	47
8.	Propuesta de placa antivibratoria para el piso	51
9.	Ejemplo de iluminación para el laboratorio de calibración.....	56
10.	Ejemplo de diagrama de espacio estructurado	66
11.	Propuesta de distribución según criterio fases de un proceso	67
12.	Balanza-comparador de alta exactitud	73
13.	Juegos o set de masas y su almacenamiento.....	74
14.	Ejemplo de aplicación de espacios prácticos en laboratorio	76
15.	Balanza analítica de alta precisión	88
16.	Ejemplo de modelo de termohigrómetro para el laboratorio.....	89

TABLAS

I.	Características de los instrumentos de medición	5
II.	División de escala de verificación.....	5
III.	Clasificación de los instrumentos de pesaje.....	6
IV.	Número mínimo de divisiones	9

V.	Errores máximos permitidos	11
VI.	Ciclos de calibración para los patrones	19
VII.	Tolerancia de las pesas o masas según OIML.....	21
VIII.	Forma de las pesas o masas ≤ 1 g.....	25
IX.	Propuesta de cimentación sistema suelos para el laboratorio.....	48
X.	Propuesta de espacios recomendados para laboratorios.....	53
XI.	Factor de mantenimiento para las luminarias	58
XII.	Requisitos técnicos del comparador de masas.	87
XIII.	Costos para obtención del equipo y masas	90
XIV.	Propuesta de salario anual para el personal del laboratorio.....	91
XV.	Propuesta para la obra civil	92
XVI.	Propuesta de mobiliario para el laboratorio	92
XVII.	Porcentaje de inversión	97
XVIII.	Cálculo de la VAN, TIR y relación B/C.....	97
XIX.	Amortización del préstamo	98
XX.	Propuesta de inversión total	99
XXI.	Ejemplo del potencial de ventas del servicio de calibración	99
XXII.	Ejemplo de ahorro a obtener en la construcción del laboratorio	100

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
d	División de escala de verificación
e	Error máximo permitido
g	Unidad de medida gramo
kg	Unidad de medida kilogramo
mg	Unidad de medida miligramo

GLOSARIO

Calibración	Conjunto de operaciones que establece bajo condiciones específicas, la relación entre las señales producidas por un instrumento analítico y los correspondientes valores de concentración o masa del set o conjunto de patrones calibrados.
Clasificación	Las pesas con valores nominales en el rango de 1 mg a 50 kg se clasifican en siete clases de exactitud, dependiendo de determinadas exigencias metrológicas.
Masa o pesa	Es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. Es una propiedad intrínseca de los cuerpos, que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional.
Pesas patrón	Es la materialización de la unidad de masa así como la de sus múltiplos y submúltiplos. Es la medida materializada de un aparato o un sistema de medición destinado a definir, conservar o reproducir una unidad.

Repetibilidad

Capacidad de un instrumento de ofrecer resultados concordantes entre sí cuando se coloca una misma carga varias veces y prácticamente de manera idéntica sobre el receptor de carga, bajo condiciones de ensayo razonablemente constantes.

RESUMEN

La empresa en estudio del presente trabajo de graduación se dedica a la calibración, mantenimiento y venta de equipos de pesaje tiene varios años desarrollando esta actividad a nivel nacional. Actualmente en Guatemala no existen laboratorios competentes especializados en la calibración de masas ya sea de tipo patrón, de referencia o de trabajo, con las condiciones ambientales y de infraestructura adecuadas; solamente se cuenta con los que se dedican a la calibración de equipos de pesaje (balanzas de precisión hasta básculas camioneras).

Por lo complicado del traslado hacia el extranjero y el costo elevado que representa realizar calibraciones periódicas de las masas, muchas empresas industriales no pueden cumplir con los requisitos que solicitan los clientes y algunas normas de calidad, específicamente al momento de exportar sus productos.

Por lo anterior, es importante la presente propuesta de diseño de un laboratorio para calibración de masas, que cumpla con los requisitos de las normas internacionales para dicho diseño y que pueda brindar de forma eficiente el servicio de calibración de masas patrón, de referencia y de trabajo, para que en la industria guatemalteca se puedan mejorar los procesos y controlar el pesaje de sus productos, y así evitar rechazos y reclamos de sus clientes, pérdidas económicas y de tiempo.

OBJETIVOS

General

Diseñar un laboratorio de calibración de masas como apoyo al laboratorio de calibración de instrumentos de pesaje, para garantizar la confiabilidad del uso de los patrones de trabajo por períodos largos.

Específicos

1. Definir las características del equipo de medición que se utilizará en el laboratorio para la calibración de las masas, según la norma internacional OIML R 111-1 (requisitos metrológicos y técnicos para las diferentes clases de masas).
2. Investigar los lineamientos para las condiciones ambientales y de seguridad industrial que debe tener el laboratorio, tomando en cuenta la norma técnica OIML G 13 (planificación de laboratorios de metrología y ensayos).
3. Identificar el área óptima para la construcción del laboratorio y la infraestructura física, de acuerdo con los requisitos técnicos de la norma técnica OIML G 13 (planificación de laboratorios de metrología y ensayo).
4. Plantear una distribución correcta del equipo de medición, utilizando adecuadamente los espacios internos del laboratorio.

5. Evaluar los costos de equipamiento, funcionamiento y mantenimiento del laboratorio.
6. Evaluar el costo–beneficio para el laboratorio de calibración de masas y así determinar su rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

El diseño de un laboratorio para la calibración de las masas tiene que cumplir ciertos requisitos, algunos de ellos son de acuerdo con la norma internacional OIML R-111 (Organización Internacional de Metrología Legal), para garantizar la confiabilidad y uniformidad de las mediciones basadas en un diagnóstico preliminar de la planificación del espacio físico adecuado del laboratorio y de los patrones de masas específicos y necesarios para la realización de las tareas de calibración y verificaciones internas a patrones que son propios de la empresa, los cuales pueden ser de clase OIML F1, F2, M1, M2 Y M3, a través de la comparación con patrones de transferencia de trazabilidad reconocida a laboratorios acreditados.

Esta acreditación se puede obtener implementando la Norma Internacional ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y/o calibración; para poder establecer acciones necesarias que se van a ejecutar, aprovechando las oportunidades de mejora continua en este tipo de industria analizada y de esta forma contribuir al beneficio interno, y para ayudar a los clientes que tengan la necesidad de realizar calibraciones y verificaciones a sus patrones de masa.

Asimismo, existe un mercado amplio en Guatemala para la prestación del servicio de calibración de masas, siendo que otras empresas que se dedican al servicio de calibración de sistemas de pesaje no disponen del servicio de la calibración de las masas, debido a que la implementación de este tipo de laboratorios tiene un costo elevado y que con base en las condiciones reales del país, se presenta complicado el desarrollo de estos.

Entonces es una necesidad imperativa para el país contar con un laboratorio con las condiciones adecuadas, que preste un servicio de buena calidad y que brinde confianza a los clientes en las mediciones que realizan en cada uno de sus procesos y en la elaboración de sus productos.

1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Las características que se utilizan en un laboratorio de calibración de masas deben ser de acuerdo con las normas o recomendaciones internacionales relacionadas con los equipos e instrumentos que se utilizan, en el proceso de calibración de las masas patrón, como se describe a continuación.

1.1. Descripción de la norma o recomendación internacional OIML R 111

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), edita esta recomendación o norma internacional OIML R 111-1, para proporcionar los requisitos técnicos y metrológicos para las masas o pesas de verificación clases E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃.

Son modelos de reglamentos que establecen las características metrológicas requeridas para ciertos instrumentos de medición y además especifica los métodos y equipos para el control de su conformidad; los estados miembros de la OIML aplicarán estas recomendaciones en la medida que sea posible. El alcance de esta recomendación internacional es el contenido de requisitos técnicos (por ejemplo, principales características físicas) y metrológicos para las masas o pesas utilizadas:

- Como patrones para la verificación de instrumentos de pesaje.
- Como patrones para la verificación o calibración de masas o pesas de una clase de menor exactitud.
- Con instrumentos de pesaje.

Esta recomendación o norma internacional se aplica a las masas o pesas con valores nominales de masa de 1 mg a 5 000 kg en las clases de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃.

1.2. Inventario actual del equipo o instrumento de medición

Actualmente en el laboratorio objeto de estudio se cuenta con el equipo de medición para realizar las diferentes mediciones de masa. Las características de estos equipos son tomadas de acuerdo con la norma OIML R 76 (instrumentos de pesaje no automáticos, parte 1; requisitos metrológicos y técnicos), este equipo se detalla a continuación:

- Una comparadora Mettler Toledo, tiene una capacidad máxima de 30 kilogramos y una resolución de 1 miligramo; este tipo de balanzas es de alta precisión para la medición de masas y también se utilizan para realizar la estimación de la incertidumbre de las masas patrón que están en el laboratorio de metrología y son usadas para los servicios de calibración. Su diseño cumple los requisitos del Instituto Nacional de Metrología, los laboratorios de calibración nacional e industrial, las oficinas de pesas y medidas y las de calibración para pesas de metrología legal. Sus condiciones de medición son muy estables, gracias a la unidad de control separada, corta aires para condiciones ambientales estables.

- Balanza analítica CPA225D: esta balanza cuenta con un tipo de pesa interna accionada por motor, la mayor precisión en la pesada se da pulsando simplemente una tecla. La balanza tiene una capacidad máxima de 220 gramos y una resolución de 0,01 miligramo; cuenta con una resolución muy baja y es capaz de determinar una incertidumbre muy pequeña en una pesa patrón utilizado en el laboratorio de metrología.
- Hidrómetros: estos se utilizan para la medición de temperatura y porcentaje de humedad en las calibraciones que realizan los técnicos.
- Dos sets de masas o pesas con clase de exactitud E₂, marca Mettler Toledo: cada uno cuenta con 25 piezas y son fabricadas con acero inoxidable, su rango va de 1 mg a 1 kg.
- Un set de masas o pesas de 28 piezas con clase de exactitud F₁, marca Mettler Toledo, de acero inoxidable con rango de 1 mg a 5 kg.
- Tres unidades de masas o pesas de 20 kg, fabricadas con acero inoxidable con clase de exactitud E₂, marca Mettler Toledo.
- Seis unidades de masas o pesas de 500 g, fabricadas con acero inoxidable con clase de exactitud F₂, marca Ohaus.
- Tres unidades de masas o pesas de 5 kg, fabricadas con acero inoxidable con clase de exactitud F₂, marca Rice Lake.
- Set de ciento treinta y cinco masas o pesas de 20 kg, fabricadas con hierro gris fundido, marca Mettler Toledo.

Todos los sets de masas cuentan con su respectivo certificado de calibración, que respalda la calidad y desviaciones de los mismos.

1.3. Especificaciones de la capacidad y precisión de las balanzas

Existen varios criterios para la adquisición de una balanza de capacidad y precisión adecuada al trabajo que se va a realizar dentro del laboratorio; es importante tomar en cuenta el valor global que la balanza aportará a las operaciones. El peso total de las masas que se van a pesar en la balanza es vital, se puede presentar un error si no se tiene la capacidad para adquirir un equipo mayor que el peso de la masa que se va medir.

1.3.1. Clases de exactitud de las balanzas o instrumentos de pesaje

Los requisitos se aplican a todos los instrumentos independientemente de sus principios de medición. Los instrumentos se clasifican de acuerdo con:

- El valor de una división de escala de verificación, que representa la exactitud absoluta
- El número de divisiones de escala de verificación, que representa la exactitud relativa.

Los errores máximos permitidos (EMP) estarán en el orden de la magnitud del valor de una división de escala de verificación.

Se especifica una capacidad mínima (Min.) para indicar que el uso del instrumento con cargas ligeras podría dar lugar a errores relativos excesivos.

Las clases de exactitud para los instrumentos de pesaje y sus símbolos se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Características de los instrumentos de medición**

Clase de exactitud	Símbolo
Exactitud especial	I
Exactitud alta	II
Exactitud media	III
Exactitud ordinaria	IIII

Fuente: Norma Internacional OIML R 076-1. p. 26.

1.3.2. Valor de una división de escala de verificación

A continuación aparece el valor de una división de escala de verificación para diferentes tipos de instrumentos en la tabla II.

Tabla II. **División de escala de verificación**

Tipo de instrumento	Valor de una división de escala de verificación
Graduado sin dispositivo auxiliar de indicación	$e = d$
Graduado con dispositivo auxiliar de indicación	El fabricante escoge “e” según los requisitos de esta norma.
No graduado	El fabricante escoge “e” de acuerdo con los requisitos de esta norma.

Fuente: Norma Internacional OIML R 76-1. p. 26.

1.3.3. Clasificación de los instrumentos

A continuación en la tabla III se muestra el valor de una división de escala de verificación, el número de divisiones y la capacidad mínima, en relación con la clase de exactitud del instrumento.

Tabla III. **Clasificación de los instrumentos de pesaje**

Clase de exactitud	Valor de división de escala de verificación (e)	Número de divisiones de escala de verificación $n = \text{Máx.}/e$		Capacidad mínima (Min) (Límite inferior)
		Mínimo	Máximo	
Especial (I)	$0,001 \text{ g} \leq e^1$	50 000	-	100 e
Alta (II)	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	100	100 000	20 e
	$0,05 \text{ g} \leq e \leq 0,1 \text{ g}$	5 000	100 000	50 e
	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10 000	20 e
Media (III)	$2 \text{ g} \leq e \leq 5 \text{ g}$	500	10 000	20 e
	$5 \text{ g} \leq e$	100	1 000	10 e
Ordinaria (III)	$5 \text{ g} \leq e$	100	1 000	10 e

Fuente: *Norma Internacional OIML R 76-1*. p. 27.

Para instrumentos de rango múltiple, los valores de una división de escala de verificación de la escala son e_1, e_2, \dots, e_r , con $e_1 < e_2 < \dots < e_r$. Los valores de Min, n y Max, se indican correspondientemente.

¹ Normalmente no resulta factible ensayar y verificar un instrumento para $e < 1 \text{ mg}$ debido a la incertidumbre de las cargas de ensayo.

Para instrumentos de rango múltiple, cada rango es tratado básicamente como instrumento de un solo rango.

En el caso de las aplicaciones especiales que están claramente marcadas en el instrumento, este puede tener rangos de pesada en las clases I y II o en las clases II y III.

1.3.4. Dispositivos auxiliares de indicación

Son parte del dispositivo medidor de carga que imprime el resultado de las pesadas. El indicador es un elemento que cumple dos funciones: indicación del equilibrio y del resultado. Puede ser un índice común para ambas indicaciones o un índice para cada una de ellas.

1.3.4.1. Tipo y aplicación

Solamente los instrumentos de las clases I y II pueden contar con un dispositivo indicador auxiliar, que deberá ser un dispositivo:

- Con jinetillo
- Para la interpolación de la lectura
- Indicador complementario
- Indicador, con una división de la escala diferenciada

Se permiten estos dispositivos solamente a la derecha del signo decimal. Los instrumentos de intervalo múltiple no contarán con dispositivos indicadores auxiliares.

1.3.4.2. Valor de una división de escala de verificación

El valor de una división de escala de verificación e se determina mediante la expresión²:

$$d < e \leq 10 d$$

$$e = 10^k \text{ kg}$$

Siendo k un número entero negativo, positivo o cero. Este requisito no se aplica a los instrumentos de pesaje de clase I con $d < 1$ mg, donde $e = 1$ mg.

1.3.4.3. Capacidad mínima

La capacidad mínima del instrumento de pesaje se determina en conformidad con los requisitos de la tabla III. Sin embargo en la última columna de esta tabla, el valor de una división de verificación de la escala “ e ” se sustituye por el valor de una división real de la escala “ d ”.

Es la mínima capacidad de registro de la balanza la cual puede ser un valor en la pantalla que muestra por ejemplo 0,00001 g de un objeto. Regularmente las balanzas traen una etiqueta de fábrica donde se registra la capacidad mínima y máxima.

Cuando se enciende la balanza en la pantalla muestra el rango de medición que es capaz de leer, tanto mínimo como máximo. Este factor es muy importante ya que de ello depende el funcionamiento adecuado de la balanza y la confiabilidad en las mediciones y lecturas que se presenten.

² Los valores de “ e ” calculados a partir de esta regla, son por ejemplo los de la tabla 4.

1.3.4.4. Número mínimo de divisiones de escala de verificación

Para un instrumento de pesaje de clase I con $d < 0,1$ mg, n puede ser menor que 50 000.

Para que una escala pueda considerarse capaz de aportar información objetiva debe de reunir, al menos los siguientes requisitos básicos: confiabilidad y validez.

Se presentan los valores mínimos de división en la tabla IV a continuación:

Tabla IV. Número mínimo de divisiones

$d =$	0,1 gramo	0,2 gramos	0,5 gramos
$e =$	1 gramo	1 gramo	1 gramo

Fuente: Norma Internacional OIML R 76-1. p. 29.

1.3.5. Errores máximos permitidos

Son los valores extremos de los errores de medidas respecto de un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado.

Ejemplo de determinación de la clase de exactitud de un instrumento de pesar: la carga máxima (Máx.) está especificada por el fabricante como Máx. 4000 g y el valor de resolución o división $d = 1$ g.

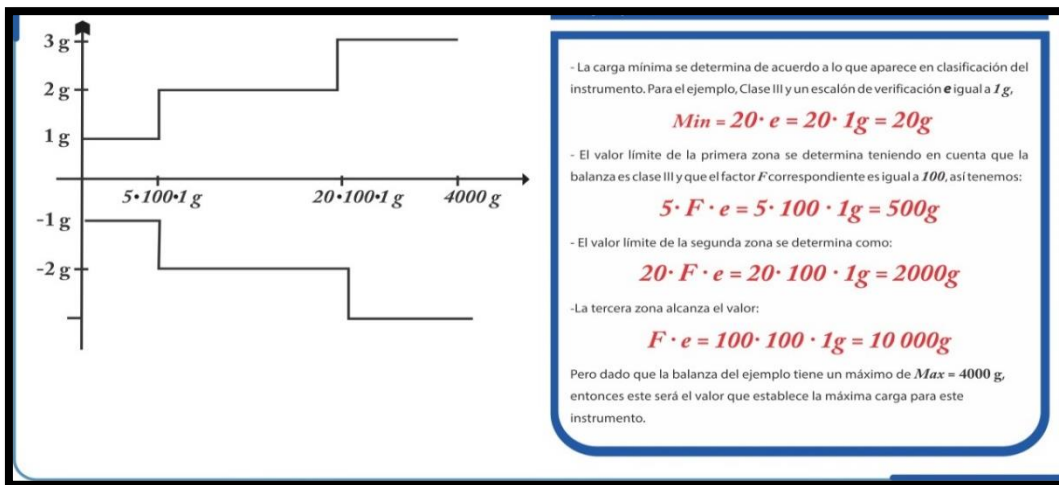
En este ejemplo se tomará $e = d$, esto es igual a valor de la resolución $e = d = 1 \text{ g}$.

El número de divisiones se determina dividiendo el valor máximo (Máx.), entre la escala de verificación “e”.

Con el valor de 4 000 divisiones, podría ser clase III, ya que esta tiene hasta 10 000 divisiones. No puede ser clase II debido a que el número de divisiones es menor que 5 000.

Con el valor de escala de verificación “e” = 1 g: no es clase IIII, ya que es menor que 5 g. Entonces se determina que es clase III, ya que la escala “e” se encuentra entre los valores $0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$.

Figura 1. Representación gráfica de los errores máximos permitidos



Fuente. Metrología. <https://www.metrologia.com>. Consulta: enero de 2015.

1.3.5.1. Valor de los errores máximos permitidos en la verificación inicial

Los errores máximos permitidos para aumentar o disminuir están dados de la forma siguiente:

Tabla V. Errores máximos permitidos

Errores máximos permitidos en la verificación inicial	Para cargas m expresadas en divisiones de verificación e			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IIII
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50\ 000$	$0 \leq m \leq 5\ 000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1 e$	$50\,000 < m \leq 200\,000$	$5\ 000 < m \leq 20\ 000$	$500 < m \leq 2\ 000$	$50 < m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200\ 000 < m$	$20\ 000 < m \leq 100\ 000$	$2\ 000 < m \leq 10\ 000$	$200 < m \leq 1\ 000$

Fuente: *Norma Internacional OIML 76*. p. 30.

1.3.5.2. Valor de los errores máximos permitidos en el servicio

Los errores máximos permitidos en el servicio serán el doble de los errores máximos permitidos en la verificación inicial. Una vez determinados los errores máximos permitidos, se está preparado para la verificación o la calibración del instrumento, de acuerdo con las condiciones ambientales del laboratorio.

1.3.6. Diferencias permitidas entre los resultados

Independientemente de la variación permisible de los resultados, el error de una pesada individual no excederá del máximo permitido para la carga dada.

1.3.6.1. Repetibilidad

La diferencia entre los resultados de varias pesadas de una misma carga no será mayor que el valor absoluto del error máximo permitido del instrumento para esa carga.

La capacidad de un instrumento de ofrecer resultados concordantes entre sí, cuando se coloca una misma carga varias veces y prácticamente de manera idéntica sobre el receptor de carga, bajo condiciones de ensayo razonablemente constantes.

La repetibilidad es otro índice del rendimiento de una balanza. Cuanto mayor es la resolución, mayor debe ser el rendimiento de la balanza para que pueda dar resultados repetibles. Las condiciones de repetibilidad comprenden los siguientes aspectos:

- El mismo procedimiento de medida
- El mismo observador
- El mismo aparato medidor, utilizado bajo las mismas condiciones.
- El mismo lugar
- Repetición dentro de un intervalo de tiempo corto

1.3.6.2. Excentricidad de la carga

Si el instrumento está diseñado de forma tal que las cargas puedan ser aplicadas en diferentes maneras, Las indicaciones para las diferentes posiciones de una carga deben cumplir con los errores máximos permitidos; puede resultar apropiado aplicar más de uno de los ensayos siguientes:

- Al menos que se especifique lo contrario, de aquí en adelante se aplicará una carga correspondiente a $1/3$ de la suma de la capacidad máxima y el efecto máximo de tara aditiva correspondiente.
- En un instrumento con un receptor de carga que tenga puntos de apoyo, con $\eta > 4$, se aplicará a cada punto de apoyo la fracción $1/(n - 1)$ de la suma de la capacidad máxima y el efecto máximo de tara aditiva.

1.4. Requerimientos de exactitud para patrones de verificación

Un patrón que es usado como parte de un proceso de control estadístico para proveer una verificación en el proceso y patrón para garantizar que los patrones, resultados de mediciones y sus procesos de medición, están dentro de los límites estadísticos aceptables. Son requisitos relacionados con los aspectos operacionales de las masas patrón:

- Forma
- Construcción
- Material
- Magnetismo
- Densidad
- Condiciones de la superficie

- Ajustes
- Marcaciones
- Formas de presentación

1.4.1. Pesas

Las pesas o masas patrón utilizadas para la verificación de un instrumento no tendrán un error mayor que $1/3$ del error máximo permitido del instrumento para la carga aplicada.

Una medida materializada de masa, reglamentada en relación a sus características físicas y metrológicas: forma, dimensión y material, calidad de la superficie, valor nominal y error máximo permitido.

1.4.2. Dispositivo de verificación auxiliar

Cuando un instrumento cuenta con un dispositivo de verificación auxiliar o cuando se verifica un dispositivo auxiliar independiente, los errores máximos permitidos de estos dispositivos serán un $1/3$ de los errores máximos permitidos para la carga aplicada. Si se utilizan pesas, el efecto de sus errores no excederá de $1/5$ de los errores máximos permitidos del instrumento que se va a verificar para la misma carga.

1.4.3. Sustitución de pesas patrón

Cuando se ensayan instrumentos con $Max > 1$ t, en lugar de pesas patrón se puede emplear cualquier otra carga constante; siempre que se usen pesas patrón de por lo menos 1 tonelada o el 50 % de Máx., la que sea mayor.

En lugar del 50 % de Máx., la cantidad de pesas patrón pueden ser reducidas a:

- 35 % de Max, si el error de repetibilidad no es mayor de 0,3 e
- 20 % de Max, si el error de repetibilidad no es mayor de 0,2 e

El error de repetibilidad tiene que ser determinado con una carga cercana al 50 % de Max y se coloca tres veces en el receptor de carga.

1.5. Requerimiento para exactitud de los patrones de masa o pesas

La clase de exactitud de las pesas utilizadas como patrones para la verificación de pesas o instrumentos de pesaje debe estar de acuerdo con los requisitos de las recomendaciones OIML³ pertinente:

- Clase E₁: pesas utilizadas para asegurar la trazabilidad entre los patrones nacionales de masa (con valores derivados del prototipo internacional del kilogramo) y pesas de clase E₂ y menor. Las pesas o juegos de pesas de clase E₁ deben ir acompañadas de un certificado de calibración.
- Clase E₂: son utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F₁ y con instrumentos de pesaje de clase de exactitud especial I. Las pesas o juegos de pesas de clase E₂ deben ir acompañadas de un certificado de calibración (véase anexo 2). Pueden utilizarse como pesas de clase E₁ si cumplen con los requisitos de rugosidad superficial, susceptibilidad magnética y magnetización de las pesas de clase E₁ y si

³ Organización Internacional de Metrología Legal. p 10,30.

su certificado de calibración proporciona los datos apropiados especificados.

- Clase F₁: pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F₂ y con instrumentos de pesaje de clase de exactitud especial I y clase de exactitud alta II.
- Clase M₁: pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₂ y con instrumentos de pesaje de clase de exactitud media III.
- Clase M₂: pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas clase M₃ y en transacciones comerciales generales y con instrumentos de pesaje de clase de exactitud media III.
- Clase M₃: pesas para ser utilizadas con instrumentos de pesaje de clase de exactitud media III y clase de exactitud ordinaria IIII.
- Clases M₁₋₂ y M₂₋₃: pesas de 50 kg a 5 000 kg de menor exactitud para ser utilizadas con instrumentos de pesaje de clase de exactitud media III.

Las unidades utilizadas son:

- Para masa el miligramo (mg), el gramo (g) y el kilogramo (kg)
- La densidad, el kilogramo por metro cúbico (kg m⁻³)

1.5.1. Valores nominales

El valor nominal es aquel para el cual está diseñada la balanza o la masa-patrón. Este valor puede no coincidir con el valor real en algunas ocasiones, debido a la precisión del equipo de medición.

Los valores nominales de la masa de las pesas o juego de pesas deben ser iguales a 1×10^n kg, 2×10^n kg o 5×10^n kg, donde “n” representa un número entero positivo o negativo o cero.

1.5.2. Secuencia de pesas

Un juego de pesas puede consistir de diferentes secuencias de valores nominales. Si se utiliza secuencias de pesas en un juego de pesas, debe emplearse las siguientes secuencias de pesas individuales:

- $(1; 1; 2; 5) \times 10^n$ kg;
- $(1; 1; 1; 2; 5) \times 10^n$ kg;
- $(1; 2; 2; 5) \times 10^n$ kg;
- $(1; 1; 2; 2; 5) \times 10^n$ kg

Donde “n” representa un número entero positivo o negativo o cero.

Un juego de pesas también puede consistir de varias pesas, todas las cuales tienen el mismo valor nominal (por ejemplo, 10 piezas o componentes del juego, cada uno con una capacidad nominal de 5×10^n kg).

1.6. Trazabilidad de los patrones de referencia y verificación

La trazabilidad metrológica está definida en el vocabulario internacional de metrología como la propiedad de un resultado de medida, por lo cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. Los laboratorios proveedores de masas o pesas Mettler Toledo, están acreditados bajo la Norma ISO/IEC 17025 (requisitos para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración) y aseguran la trazabilidad de las masas o pesas calibradas mediante:

- Se asegura una cadena ininterrumpida de comparaciones: utilizando patrones primarios que son trazables a patrones internacionales y finalmente al prototipo del kilogramo que se encuentra en la Oficina Internacional de pesas y medidas (BIPM) en Sevres, cerca de París.
- Incertidumbre de medición: asignada a cada calibración y declarada claramente en los certificados de calibración de masas o pesas.
- Documentación: normalmente un certificado de calibración, mostrando todos los resultados incluyendo incertidumbres y otras informaciones requeridas por la Norma ISO/IEC 17025⁴.
- Competencia técnica: demostrada mediante la participación en ejercicios de intercomparación con otros laboratorios e instituciones nacionales.

⁴ Norma ISO/IEC 17025. Requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. p. 23.

- Recalibraciones: de los patrones primarios, patrones de trabajo y verificación en intervalos de tiempo apropiados para asegurar su exactitud y trazabilidad.

A continuación se presentan los períodos recomendados para la recalibración de los patrones de referencia o verificación.

Tabla VI. Ciclos de calibración para los patrones

Ciclo de Calibración	Tipo de Pesa	Material	Ubicación
	Prototipo Internacional 1 kg	Platino-Iridio $r = 21.5 \text{ g/cm}^3$	BIPM, Sèvres, Francia
 25 años	Prototipo Nacional 1 kg	Platino-Iridio $r = 21.5 \text{ g/cm}^3$	CH, F, GB, EU, ... p.ej. METAS, Bern, Suiza
 10 años	Patrón Primario 1 kg	Acero inoxidable $r = 8.0 \text{ g/cm}^3$	CH, F, GB, EU, ... p.ej. METAS, Bern, Suiza
 5 años	Patrón primario METTLER TOLEDO Laboratorio de Masas	Acero inoxidable $r = 8.0 \text{ g/cm}^3$	11 Países
 1-2 años	Cliente	Acero inoxidable bronce, aluminio	Todo el mundo

Fuente: *Mettler Toledo Manual de pesas*. p. 12.

1.7. Tolerancias máximas aceptadas de las masas o pesas

Las pesas calibradas con exactitud son la base de unos resultados de pesadas exactos. Las balanzas siempre deben ser verificadas con pesas de referencia en las que se pueda confiar. Se deben limpiar, calibrar y ajustar las masas o pesas; se deben documentar los resultados en un certificado de calibración.

Los certificados de calibración reportan los valores de masa convencional, incertidumbre e información de la trazabilidad y tolerancias máximas permitidas.

1.7.1. Tolerancias de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)

Los valores nominales indican desde la masa o pesa más pequeña hasta la más grande para las distintas clases de exactitud según la norma OIML R111 y los respectivos errores máximos permitidos para cada masa o pesa. Por ejemplo, el valor más pequeño de una masa o pesa que se acepta en una clase M_2 es de 100 mg, mientras que el mayor es de 5 000 kg.

Una masa o pesa de 50 mg, no puede ser aceptada como una masa o pesa de clase M_2 , según la OIML R111; pero sí puede ser aceptada dentro de las clase M_1 , si cumple con los errores máximos permisibles y otros requerimientos de la norma (por ejemplo: forma o marcados permitidos).

A continuación se presentan detalladamente los valores recomendados para las tolerancias de acuerdo con las clases de exactitud.

Tabla VII. Tolerancia de las pesas o masas según OIML

Organización Internacional de Metrología Legal Recomendación OIML R111							
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5000 kg			25000	80000	250000	800000	2500000
2000 kg			10000	30000	100000	300000	1000000
1000 kg		1600	5000	16000	50000	160000	500000
500 kg		800	2500	8000	25000	80000	250000
200 kg		300	1000	3000	10000	30000	100000
100 kg		160	500	1600	5000	16000	50000
50 kg	25	80	250	800	2500	8000	25000
20 kg	10	30	100	300	1000	3000	10000
10 kg	5	16	50	160	500	1600	5000
5 kg	2.5	8.0	25	80	250	800	2500
2 kg	1	3	10	30	100	300	1000
1 kg	0.5	1.6	5	16	50	160	500
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25	80	250
200 g	0.1	0.3	1.0	3	10	30	100
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0	16	50
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0	10	30
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5	8.0	25
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0	6.0	20
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0	16
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2	4.0	12
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0	10
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5	
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0	
100 mg	0.005	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6	
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4		
20 mg	0.003	0.010	0.030	0.10	0.30		
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25		
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20		
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20		
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20		

Fuente: Mettler Toledo Manual de pesas. p.13.

1.7.2. Errores máximos permisibles en la verificación

Existen dos tipos, uno es el error máximo tolerado en la calibración para las pesas individuales; ambos son relativos al valor de masa convencional. El otro es el error máximo tolerado en verificaciones subsecuentes; en caso de que este error sea mayor a lo establecido en la tabla VII, las pesas no pueden declararse como pertenecientes a la clase de exactitud correspondiente.

1.7.2.1. Los errores máximos permisibles en la verificación inicial y verificación posterior o la inspección durante el servicio

Se proporcionan los errores máximos permisibles para la verificación inicial de pesas individuales, los cuales se relacionan con la masa convencional (ver la tabla V).

Los errores máximos permisibles para la verificación posterior o la que se realiza durante el servicio quedan a criterio de cada entidad. Sin embargo, si los errores máximos permisibles son mayores a los de la tabla I, no se puede declarar que la pesa pertenece a la correspondiente clase de la OIML.

1.7.2.2. Incertidumbre expandida

Una determinación rigurosa de la incertidumbre expandida de la medición, correspondiente a un nivel definido de confianza, requiere la consideración de los grados de libertad. Este concepto implica aumentar los valores de incertidumbre, cuando fueron obtenidos con base en informaciones limitadas, por ejemplo un número limitado de mediciones. Para cada pesa, la incertidumbre expandida U , para $k = 2$, de la masa convencional, debe ser inferior o igual a un tercio del error máximo permisible:

$$U \leq 1/3 \delta m$$

La incertidumbre expandida del error es:

$$U(E) = k u(E)$$

El factor de cobertura k , se debería elegir tal que la incertidumbre expandida corresponda a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95 %.

El valor $k = 2$, que corresponde a una probabilidad de 95,5 %, aplica cuando:

- Se puede asumir una distribución normal (Gaussiana) para el error de la indicación.
- La incertidumbre estándar $u(E)$ es suficientemente confiable (por ejemplo tiene un número suficiente de grados de libertad).

1.7.2.3. Masa convencional

Para cada pesa, la masa convencional, m_c (determinada con una incertidumbre expandida, U , de acuerdo con 1.8.1.3.) no debe diferir el valor nominal de la pesa, m_o , en más del error máximo permisible, δm , menos la incertidumbre expandida:

$$m_o - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_o + (\delta m - U)$$

Las pesas de clases E_1 y E_2 , que siempre van acompañadas de certificados que proporcionan los datos apropiados (especificados en anexo 1), el usuario debe tomar en cuenta la desviación respecto del valor nominal,

$$m_c - m_o$$

1.8. Tipo de material, forma y composición de las masas o pesas

El material de las masas, va de acuerdo con la calidad y la precisión de las mismas, ya que puede ir desde un metal fundido rústico, hasta el acero inoxidable más fino y pulido.

Respecto de la forma pueden clasificarse en triangulares, esto es para las de rango muy pequeño, cilíndricas, que van hasta los 5 kilogramos; y las rectangulares, con un acabado especial para poderlas manipular hasta de 20 kilogramos.

Pueden existir aleaciones de diferentes materiales, dependiendo de la marca y del proveedor, esto con el fin de que tengan una mejor resistencia a la abrasión y a la corrosión.

1.8.1. Generalidades

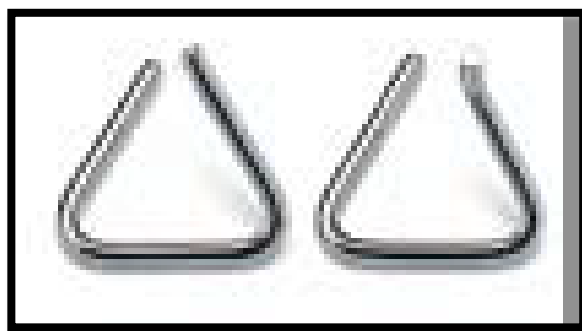
Las pesas deben tener una forma geométrica sencilla para facilitar su fabricación. No deben tener bordes o ángulos filosos para evitar su deterioro, ni orificios pronunciados para evitar depósitos (por ejemplo, de polvo) sobre su superficie. Las pesas de un determinado juego deben tener la misma forma, salvo de 1 gramo o menos.

1.8.2. Pesas de 1 gramo o menos

Las pesas de menos de 1 g deben ser láminas planas poligonales o alambres, con formas de acuerdo con la tabla VIII, que permitan un fácil manejo.

Las pesas de 1 gramo pueden ser láminas planas poligonales o alambres (véase figura 2).

Figura 2. **Modelo de las pesas de 1 gramo**



Fuente: *Mettler Toledo Manual de pesas*. p. 19.

La forma de las pesas no marcadas con su valor nominal debe cumplir con los valores dados en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Forma de las pesas o masas ≤ 1 g**

Valores nominales	Láminas poligonales	Alambres		
		Pentágono	Cuadrado	Triángulo
5 mg, 50 mg, 500 mg	Pentágono	} o {	}	5 segmentos
2 mg, 20 mg, 200 mg	Cuadrado			2 segmentos
1 mg, 10 mg, 100 mg, 1 000 mg	Triángulo			1 segmento

Fuente: *Norma Internacional OIML R-111-1*. p. 13.

Un juego de pesas puede estar compuesto de más de una secuencia de formas, difiriendo una secuencia de otra. Sin embargo, en una serie de

secuencias, una secuencia de pesas de una forma diferente no debe ser insertada entre dos secuencias que tienen la misma forma.

1.8.3. Pesas de 1 gramo hasta 50 kilogramos

Una pesa de 1 gramo puede tener la forma de múltiplos de pesas de 1 gramo o la forma de submúltiplos de pesas de 1 gramo.

Las pesas de valores nominales de 1 gramo a 50 kilogramos pueden tener las dimensiones externas mostradas en las figuras y tablas del anexo 4 y 5.

Estas pesas también pueden tener un cuerpo cilíndrico o ligeramente cónico. La altura del cuerpo debe estar entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{5}{4}$ de su diámetro medio en milímetros. También pueden estar provistas de un botón de sujeción que tenga una altura entre $0,5 \times 1$ y x el diámetro medio del cuerpo en milímetros.

Además de las formas antes mencionadas, las pesas de 5 a 50 kilogramos pueden tener una forma diferente adecuada para su método de manipulación. En vez de un botón de sujeción pueden incluir dispositivos de manipulación rígidos incorporados con las pesas, tales como ejes, agarraderas, ganchos u ojales.

Las pesas de clase M con valores nominales de 5 a 50 kilogramos también pueden tener la forma de un paralelepípedo rectangular, con bordes redondeados y una agarradera rígida.

1.8.4. Pesas de 50 kilogramos o más

Las pesas de 50 kilogramos o más pueden tener una forma cilíndrica, rectangular u otra forma adecuada. La forma debe prever el almacenamiento y manipulación seguros, para evitar su deterioro.

Las pesas de 50 kilogramos o más pueden estar provistas de dispositivos de manipulación rígidos, tales como ejes, agarraderas, ganchos, ojales, etc.

Si las pesas de clase M están previstas para correr sobre un piso plano (o sobre rieles), deben estar equipadas con pistas de rodadura o ranuras de área limitada.

1.8.5. Construcción, material y superficie

Las pesas deben ser resistentes a la corrosión. La calidad del material debe ser tal que los cambios de la masa de las pesas deben ser insignificantes en relación con los errores máximos permitidos en su clase de exactitud (ver tabla V) en condiciones normales de uso y el propósito para el cual se están utilizando. Además, debe dárseles mantenimiento y limpieza adecuados para evitar el desgaste por la manipulación y la fricción.

1.8.5.1. Pesas de clase E

Estas pesas son de acero inoxidable de alta calidad fundidas al vacío, con una alta precisión y una tolerancia mínima, con protección en cajas y una cobertura que evita que se rayen por la fricción de sacarlas y meterlas. Esta clase de pesas se determina por su mínima tolerancia y alta precisión, ya que su material de acero inoxidable tiene un acabado muy fino.

Para pesas de 1 gramo o más, la dureza de este material y su resistencia al desgaste deben ser similares o mejores que las de acero inoxidable auténtico. Este tipo de pesas puede clasificarse en tipo E1 y E2, como se describe y a continuación.

- Pesas de clase E de 1 miligramo a 50 kilogramos: las pesas de clase E de 1 miligramo a 50 kilogramos deben ser sólidas y no deben tener cavidades abiertas a la atmósfera, no deben tener poros, deben tener un acabado muy fino. Deben consistir de una sola pieza de material de alta calidad.
- Pesas de clase E₂ de más de 50 kilogramos: estas pueden tener una cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad no debe ser superior a 1/ 1000 del volumen total de la pesa. La cavidad debe ser cerrable, estanca y hermética. Un tapón roscado con una ranura para destornillador o un dispositivo de manipulación, por ejemplo, un botón, agarradera, ojal, etc., deben cerrar la cavidad de ajuste. El material del tapón debe ser el mismo que el del cuerpo de la pesa y cumplir con los requisitos de superficie de la clase E₂.

Después del ajuste inicial, aproximadamente $\frac{1}{2}$ del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

1.8.5.2. Pesas de clase F

Las pesas de clase F pueden consistir de una o más piezas fabricadas del mismo material. La superficie de pesas de clase F de 1 gramo o más puede ser tratada con un revestimiento metálico adecuado para mejorar su resistencia a la corrosión y dureza.

En el caso de las pesas de clase F de 1 gramo o más, la dureza y fragilidad de los materiales utilizados deben ser al menos iguales a las del bronce estirado.

Las pesas de clase F de 50 kilogramos o más, la dureza y fragilidad de los materiales utilizados para todo el cuerpo o para las superficies externas, deben ser al menos iguales a las del acero inoxidable.

Las pesas de clase F de 1 gramo a 50 kilogramos pueden tener una cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad no debe ser superior a $\frac{1}{4}$ del volumen total de la pesa. La cavidad debe ser cerrada ya sea mediante un botón de sujeción o mediante cualquier otro dispositivo adecuado.

Después del ajuste inicial, aproximadamente $\frac{1}{2}$ del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

1.8.5.3. Pesas de clase M

Las pesas de clase M poseen una calidad menor que las mencionadas anteriormente, ya que estas pueden o no tener una cavidad de ajuste, debido a que el material del que están fabricadas puede generar una considerable desviación en las mediciones, entonces se debe tener en cuenta su limpieza, mantenimiento y almacenaje.

La capacidad de esta clase de pesas va desde 1 miligramos hasta 5,000 kilogramos, con tolerancias que se obtienen de parte de la Organización Internacional de Metrología Legal.

Las pesas de clases M_1 , M_2 y M_3 de 1 a 10 gramos deben ser sólidas, sin una cavidad de ajuste. En el caso de pesas clases M_1 , M_2 y M_3 de 20 gramos a 50 gramos, la cavidad de ajuste es opcional. Las pesas de clases M_1 , M_2 y M_3 de 100 gramos a 50 kilogramos deben tener una cavidad de ajuste. Sin embargo, la cavidad de ajuste es opcional para pesas de clases M_1 y M_2 de 20 a 200 gramos, que son de acero inoxidable.

La cavidad de ajuste debe estar diseñada de tal manera que evite la acumulación de material extraño o desechos, que permita un cierre seguro de la cavidad y permita abrir la cavidad para ajustes adicionales. El volumen de la cavidad de ajuste no debe ser superior a $\frac{1}{4}$ del volumen total de la pesa. Después del ajuste inicial, aproximadamente $\frac{1}{2}$ del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

1.8.5.4. Pesas de clase M_1 , M_2 y M_3 de 50 kilogramos o menos

La superficie de pesas de 1 gramo o más puede ser tratada con un revestimiento adecuado para mejorar su resistencia a la corrosión o dureza. Las pesas de clase M de menos de 1 gramo deben ser de material que sea lo suficientemente resistente a la corrosión y oxidación.

Las pesas cilíndricas de clase M_1 de menos de 5 kilogramos y las de clases M_2 y M_3 de menos de 100 gramos deben ser de bronce o un material, cuya dureza y resistencia a la corrosión sean similares o mejores que las del bronce. Otras pesas cilíndricas de clase M_1 , M_2 y M_3 de 50 kilogramos o menos, deben ser de hierro fundido gris o de otro material, cuya fragilidad y resistencia a la corrosión sean similares o mejores que las del hierro fundido gris.

2. LINEAMIENTOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

2.1. Descripción de la norma o recomendación internacional OIML G -13

La Norma Internacional OIML G13, que se refiere a la “planificación de los laboratorios de metrología y ensayo”, se escribió a solicitud del consejo de desarrollo de la Organización Internacional de Metrología Legal, con el propósito de orientar a las organizaciones nacionales que pretenden establecer nuevos laboratorios para metrología. Por lo cual muchas organizaciones, en mayor o menor grado, pueden estar relacionadas con el ensayo de los productos y materiales; también trata brevemente de los problemas que afectan la planificación de premisas para tales actividades y sus nexos con los laboratorios de metrología⁵.

2.1.1. Antecedentes para la planificación

El primer paso a dar es hacer un inventario de las necesidades para las actividades de ensayo y metrológicas, tomando en cuenta el alcance de la empresa, los requisitos trazados por las leyes y regulaciones existentes y las que puedan surgir en el futuro y los medios de los que ya se dispone en la empresa.

⁵ Norma Internacional OIML G13. *Planificación de los laboratorios de metrología y ensayo*. p. 5-20.

Conviene a este respecto tener en cuenta que cualquiera que sea el costo, que incluso sea equipo muy avanzado instalado en los laboratorios, la dotación de personal y el funcionamiento serán calificados a la larga, desde el punto de vista económico.

Vale la pena destacar especialmente este hecho a la luz de la experiencia de los laboratorios en algunos países, que su construcción o expansión se proporciona con fondos adecuados, pero que posteriormente han sido privados de los fondos necesarios para cubrir los costos operativos y de desarrollo. Dichos laboratorios pueden llegar a ser ineficaces después de algunos años y ya no contribuir al desarrollo del país.

Si un presupuesto operacional adecuado no se puede prever de acuerdo con lo que establece la dirección, se deben regular u obtener otras contribuciones y / o de los ingresos por los servicios prestados; es mucho mejor para limitar el alcance de las actividades por los acuerdos de cooperación con otros organismos en el país y hacer lo mejor posible del punto de vista operativo dentro de un campo limitado de actividades de prueba que no estén cubiertos por otros organismos. En pocas palabras, las actividades, laboratorios y presupuestos que se ejecutan deberán estar contruidos para permitir una operación eficiente, que puede seguir la evolución de la tecnología, tanto en las adquisiciones de equipos y dotación de personal adecuado.

2.1.2. Planificación de la metrología

La metrología es sin duda un "debe" no solo desde el punto de vista de los requisitos legales para el comercio, la salud y la seguridad, sino también para prácticamente todos los campos de las actividades industriales.

Estándares de medición (etalones) solo son un punto de partida básico para probar las actividades en todos los países.

El tipo de normas de medición básicas elegidas para un país debe depender más de factores prácticos que en consideraciones teóricas basadas exclusivamente en las definiciones del Sistema Internacional de unidades de medida. En otras palabras, y con pocas excepciones, es generalmente mejor para construir el laboratorio a partir de la base, que en el presente caso está representada por las necesidades directas de comercio, la salud, la industria y el transporte.

En esta forma de planificación para la metrología, es decir desde el extremo inferior de la normas, el esquema de la jerarquía no significa que los costos de los equipos y otras instalaciones serán menos, por el contrario, un solo camión equipado para las básculas de verificación puede, por ejemplo, disminuir el costo, más que muchas normas de metrología de alta precisión.

2.1.3. Disposición general de los laboratorios de metrología

Aunque los requisitos en relación con el acondicionamiento (estabilidad de la temperatura, bajo nivel de vibraciones, entre otros suelen ser estrictos para los laboratorios de metrología, son en otros aspectos más fáciles de planificar que los de los ensayos de materiales, donde puede ser necesario más espacio y flexibilidad, teniendo en cuenta cambios imprevisibles en el tipo y el volumen de actividades.

En este capítulo se trata de especificar las necesidades y proponer diseños para los laboratorios de estándares de medición de pequeñas y

medianas empresas y de actividades conexas que puedan llevarse a cabo en un laboratorio adecuado.

2.2. Condiciones ambientales para las instalaciones

Las guías aplicables se basan en la infraestructura física acerca de las condiciones ambientales de temperatura y humedad requeridas por el laboratorio.

Dentro de las normas que se involucran en el diseño de las instalaciones de laboratorios de metrología, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos: ampliaciones futuras, comunicaciones y sistemas de datos, seguridad, protección antifuego, alarmas, limpieza, temperatura, ventilación condiciones ambientales en áreas de calibración, vibraciones energía eléctrica, control de descargas electrostáticas, sistemas de suelos, controles de interferencia electromagnética, y de radio frecuencia, iluminación, salud, seguridad ocupacional y sanidad, son algunas de las consideraciones que se deben tomar en cuenta para infraestructura física y humana dentro del laboratorio.

Las áreas de las calibraciones del laboratorio, incluidas, pero no en forma excluyente, las fuentes de energía, la iluminación y las condiciones ambientales, deben facilitar la realización correcta de las calibraciones. Debe asegurarse que las condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida de las mediciones. Se deben tomar precauciones especiales cuando el muestreo o las calibraciones se realicen en sitios distintos de la instalación permanente del laboratorio. Los requisitos técnicos para las instalaciones y las condiciones ambientales que puedan afectar a los resultados de las calibraciones deben estar documentados.

Se debe realizar el seguimiento, controlar y registrar las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones, métodos y procedimientos correspondientes, o cuando estas puedan influir en la calidad de los resultados.

Se debe prestar especial atención, por ejemplo, a la esterilidad biológica, el polvo, la interferencia electromagnética, la radiación, la humedad, el suministro eléctrico, la temperatura, y a los niveles de ruido y vibración, en función de las actividades técnicas en cuestión. Cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados de las calibraciones, estos se deben interrumpir.

Debe haber una separación eficaz entre áreas vecinas en las que se realicen actividades incompatibles y tomar medidas para prevenir la contaminación cruzada.

Es necesario controlar el acceso y el uso de las áreas que afectan a la calidad de las calibraciones. El laboratorio debe determinar la extensión del control en función de sus circunstancias particulares, además de los aspectos anteriores tomar medidas para asegurar el orden y limpieza del laboratorio. Cuando sea necesario se deben preparar procedimientos especiales.

2.2.1. Requisitos especiales de aire acondicionado para metrología

Como ya se mencionó, sin tener en cuenta el clima y con independencia de la calefacción o carboneras, proporcionadas para la comodidad, la metrología y ensayo de materiales requerirá, en varios casos, de climatizadores especiales para obtener resultados de pruebas reproducibles y comparables. Los requisitos son generalmente diferentes en función del tipo y la precisión de los instrumentos o de los productos que serán ensayados.

Limitándose a la metrología el objetivo principal es obtener:

- Una temperatura estable (20 °C a 23 °C)
- Una humedad razonablemente baja (mínimo 40 %)

Sin embargo, por lo general no hay requisitos estrictos respecto de las partículas, excepto que en la toma de aire fresco deben ser filtrados cuidadosamente y que todas las ventanas deben ser a prueba de polvo. Hay estrictos requisitos respecto de las partículas; se deben colocar filtros de aire, y las ventanas deben ser a prueba de polvo.

2.3. Control de la temperatura

En cuanto a la humedad, el efecto más problemático en metrología es generalmente el riesgo de condensación que conduce a la corrosión de los instrumentos mecánicos o de aislamiento inferior, e incluso ruptura en cuanto a la instrumentación electrónica.

La temperatura debería estar entre 20 y 23 °C y mantenerse constante, en lo posible dentro de una variación de $\pm 0,5$ °C, con la ayuda de termómetros de contacto. El período de las variaciones de la temperatura debería ser de por lo menos varias horas. La temperatura requerida puede mantenerse también durante la noche. La temperatura no debe variar sustancialmente (ni subir, ni bajar), para evitar un empañamiento o decoloración superficial de las masas. Estas se tienen que disponer en lugares, dentro de la sala de ensayos, termómetros para laboratorio verificados con escala incluida (de 0 a 30 °C) con 0,1 °C de división de escala u otros instrumentos, de manera que la temperatura del laboratorio pueda ser controlada.

2.4. Control de la humedad relativa

La humedad relativa en el laboratorio de verificación de masas debe mantenerse constante y en un rango entre el 40 y 60 %. Al menos un higrómetro de cabello debe ser dispuesto en un lugar adecuado para permitir que se mida la humedad.

En cuanto a la humedad, el efecto más problemático en metrología es generalmente el riesgo de condensación que conduce a la corrosión de los instrumentos mecánicos, aislamiento inferior o incluso ruptura en cuanto a la instrumentación electrónica. Para verificar que el higrómetro de cabello indica correctamente, se ha de utilizar un psicrómetro de aspiración de Assmann o un instrumento de medición del punto de rocío.

La humedad relativa (porcentaje) varía en gran medida con la temperatura, en un cuarto o habitación con contenido de humedad constante (masa de agua) que puede aumentar típicamente en un 5 % para una disminución de la temperatura en 1 °C; por lo tanto, para estar en el lado seguro y evitar la condensación de la humedad relativa, no debe permitirse que sea mayor a 70 % en los laboratorios de metrología.

Además, cada laboratorio de verificación de masas tiene que estar equipado con un barómetro (división de escala ± 1 mbar), de manera que se pueda medir la presión atmosférica. De ser necesario, se ha de instalar un sistema acondicionador de aire o deshumecedor. Como resultado de estas consideraciones y teniendo en cuenta la baja disipación de energía interna en un laboratorio de calibración de masas, la mejor solución parece ser que le facilite la circulación de aire externo en el medio de dobles paredes y utilizar una pequeña (se puede cerrar) entrada de aire / salida para el *confort* humano.

Figura 3. Instrumento para la medición de temperatura y humedad



Fuente. *Mettler Toledo Manual de equipo de medición*. p. 15.

2.5. Partículas de polvo

Se controla la presencia de polvo, ya que modifica el comportamiento de la luz al atravesar el aire. En los laboratorios de metrología dimensional el polvo afecta la medición de las dimensiones en distintas piezas.

Es importante el control de las partículas de polvo dentro del laboratorio de calibración, ya que esto puede afectar las calibraciones internamente, los rangos adecuados para poder controlar son los siguientes:

$$\text{Mayores de } 0,5 \mu\text{m} \leq 40 \times 10^6 /\text{m}^3.$$

2.5.1. Presión atmosférica

La presión atmosférica normalizada suele ser en laboratorios industriales ligeramente superior a la externa (25 Pa) para evitar la entrada de aire sucio de las zonas de producción al abrir las puertas de acceso.

En el caso de laboratorios con riesgo biológico (manipulación de agentes infecciosos) la situación es la contraria, ya que debe evitarse la salida de aire que pueda estar contaminado, por lo que la presión será ligeramente inferior a la externa.

2.5.2. Control de la limpieza

En lo que concierne a cualquier otro aspecto de las actividades del laboratorio, la responsabilidad de las operaciones de limpieza deberá definirse claramente.

Tanto el personal de la limpieza como el del laboratorio deberán tener instrucciones precisas sobre sus obligaciones en relación con:

- La limpieza de los suelos, superficies verticales (por ejemplo, armarios, paredes, ventanas y puertas), superficies horizontales (por ejemplo superficies de trabajo, estanterías), equipo, campanas de humos, almacenes de temperatura regulada.
- Control del contenido de campanas de humos, almacenes de temperatura regulada.
- Comprobación del funcionamiento del equipo de acondicionamiento de aire y extracción de polvo y de las campanas de humos.

- Control de las plagas.

Figura 4. **Ejemplo de laboratorio limpio y ordenado**



Fuente: *Laboratorio Nacional de metrología Manual*. p. 5.

2.6. **Protección contra incendios**

En caso de accidentes, es muy importante seguir las instrucciones del responsable del laboratorio y acudir inmediatamente a un médico. De todas formas, pueden aplicarse las siguientes medidas de auxilio:

- Si se han producido cortes por la rotura del material de vidrio, lavar bien la herida con abundante agua corriente durante al menos 10 minutos.
- Desinfectar la herida con antisépticos del botiquín y dejarla secar al aire o taparla con una venda estéril.

- Si ha habido contacto con productos químicos, lavar inmediatamente la piel con agua corriente, durante al menos 15 minutos.
- Si se ha inhalado un producto químico, conducir inmediatamente a la persona afectada a un lugar con aire fresco.
- Contar con equipo de protección contra incendios (por ejemplo: extintores adecuados para este laboratorio; se recomienda polvo químico seco).
- Debe contarse con identificación y señalización adecuada para la ubicación fácil del equipo.

3. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA PARA EL LABORATORIO

Las instalaciones de un laboratorio de calibración de masas deben cumplir con los rangos y requisitos establecidos en las normas internacionales, como se describe a continuación. Se realiza un análisis de los espacios requeridos por medio de los diagramas de relaciones de espacio, comparados con el espacio disponible.

La disposición del laboratorio debe diseñarse con criterios de eficiencia. Por ejemplo la distancia que deba recorrer el personal para llevar a cabo las distintas fases de los procesos de calibración de las masas, ha de ser la más corta posible, aun teniendo presente que tal vez haya que separar algunos procedimientos de otros por motivos de análisis o de seguridad.

3.1. Ubicación

Este es el principal aspecto que tiene que ser analizado para la ejecución del proyecto, ya que si no cuenta con un espacio físico en donde se van a construir las instalaciones del nuevo laboratorio, no podrá aplicar el trabajo de graduación.

Debido a la necesidad que existe dentro de la empresa de calibrar su propio equipo de medición, surge la necesidad de la propuesta del diseño del laboratorio de calibración de masas, para que pueda ejecutarse esta actividad y prestar un servicio externo, para la calibración del equipo de medición de los clientes en los diferentes lugares del país.

Debido a que existe un espacio dentro de un área que está sirviendo como bodega para almacenaje de equipo de pesaje, y realizando los análisis correspondientes del suelo y la estructura que se va a utilizar, este cumple con las condiciones necesarias, para realizar la construcción del laboratorio.

3.2. Delimitación del área y sus dimensiones

La propuesta de diseño del laboratorio de calibración de masas, objeto del presente trabajo de graduación, se realizó aprovechando parte de las instalaciones de un edificio ya construido, el cual actualmente alberga la bodega para almacenamiento de equipo de pesaje de las importaciones que se realizan en la empresa.

Los requisitos son los mínimos establecidos en las normas nacionales e internacionales, para garantizar la correcta diseminación de la exactitud de la magnitud en cuestión. Se toman en cuenta las necesidades climáticas que por norma debe tener un laboratorio de metrología dimensional.

El laboratorio limitará al norte con el departamento técnico de la empresa, al sur con el laboratorio de análisis de agua, al este con la entrada principal del grupo de empresas y al oeste con la empresa distribuidora de maquinaria pesada.

Se presentan dos opciones tomando en cuenta las condiciones del área asignada para dicho diseño; dos empresas dedicadas a la construcción realizaron las evaluaciones necesarias, para cumplir con los requisitos establecidos en las normas mencionadas en el presente trabajo.

3.2.1. Dimensiones

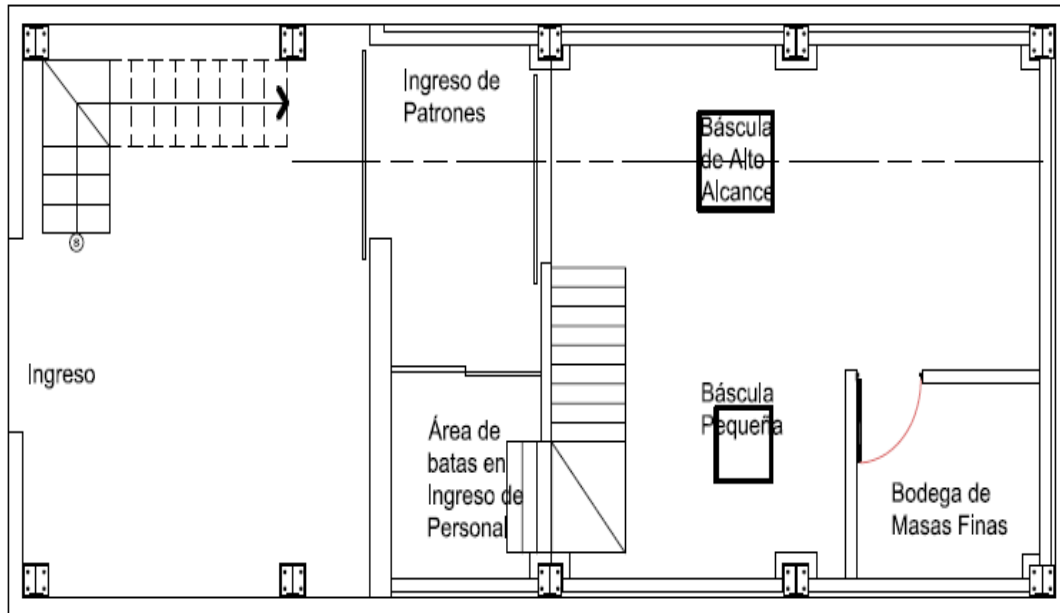
Las dimensiones de la instalación utilizada como laboratorio de calibración deben considerar que las balanzas de alta precisión requeridas sean instaladas adecuadamente.

Las dimensiones para el diseño del laboratorio de calibración son de 8 m x 5,5 m; esto representa un área de 44 metros cuadrados en donde se planificarán dichas instalaciones. A continuación se presentan dos opciones de propuesta para el diseño del laboratorio de calibración.

Se realizaron planos en los cuales se muestran la ubicación y dimensiones del laboratorio, y la forma en la cual se han distribuido las áreas y ambientes necesarios para brindar un servicio eficiente. A continuación se detallan dos opciones.

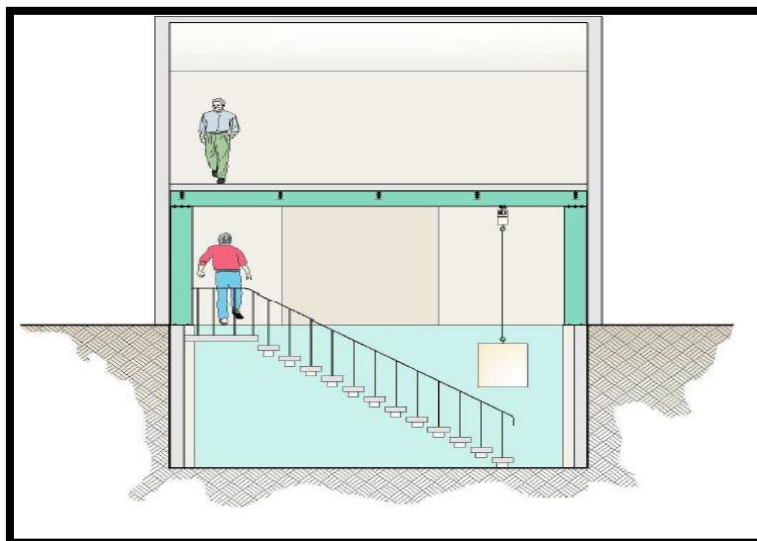
- Opción uno: en esta opción, de acuerdo con las dimensiones mencionadas en el párrafo anterior, como se ve en la figura 3, se presenta la dificultad de obstrucción del paso de la masa que se moviliza por el polipasto eléctrico; este es un factor de riesgo para la aplicación de la seguridad industrial, ya que puede causar varios incidentes al equipo y personal del laboratorio, en el movimiento que se genere en las gradas (ver la figura 5 y 6). Escalera en “i” montada sobre el muro de contención (planta baja opción 1).

Figura 5. **Propuesta opción uno, para diseño de laboratorio**



Fuente: empresa de construcción B2V2.

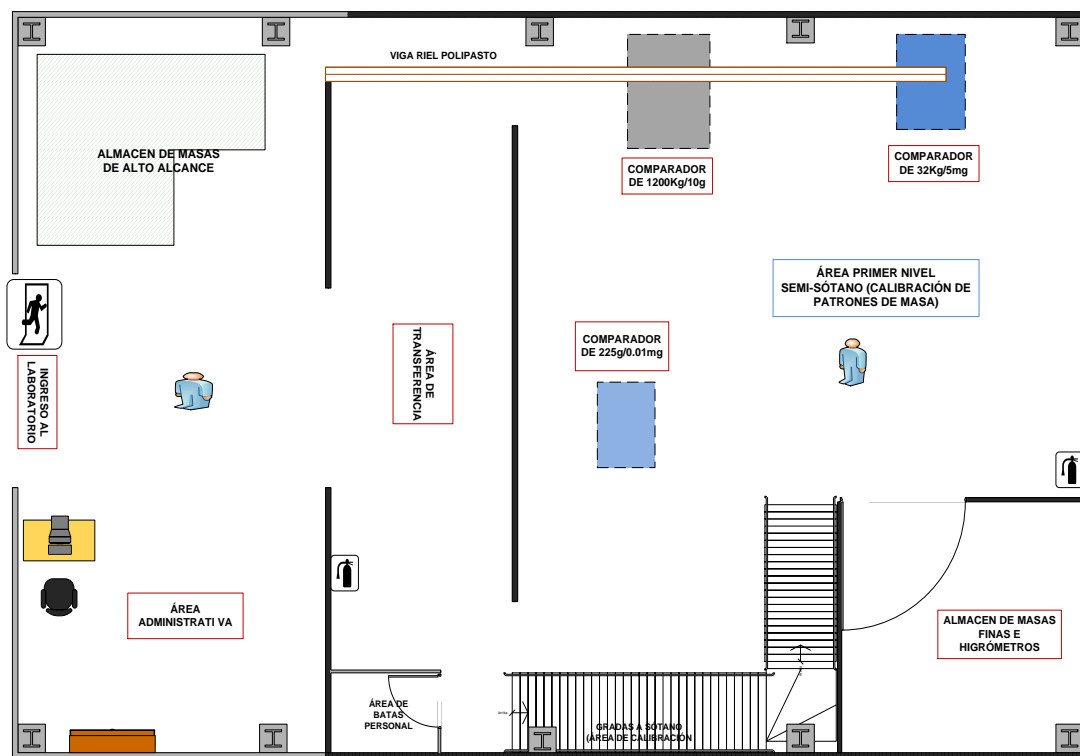
Figura 6. **Propuesta opción uno diseño planta baja**



Fuente: empresa de construcción B2V2.

- Opción dos: para la opción dos se puede observar que las escaleras tienen la forma en L, montadas sobre el muro de contención y pasando al lado de la pared del “almacén de masas finas”, como se muestra a continuación.

Figura 7. Propuesta opción dos para diseño de laboratorio



Fuente: empresa de construcción B2V2.

La modificación más importante de la segunda opción respecto de la primera, es cambiar la posición de la báscula pequeña, pero en la última no existen riesgos potenciales de accidentes por la movilización de las masas de alto alcance.

La ubicación de la báscula grande corresponde al mejor aprovechamiento del espacio, debido a las condiciones dadas por las escaleras (gradas en i o en L), y así no debilitar la estructura de la cimentación ubicadas cerca de las columnas, por lo que es mejor la opción dos.

3.3. Requisitos de los sistemas de suelo

Los cimientos del laboratorio deben cumplir con los requisitos de la Organización Internacional de Metrología Legal, planificación de los laboratorios de metrología y ensayo. El tamaño y la forma de los suelos decidirán cuál disposición es la mejor.

Inicialmente se tiene el proceso de limpieza y demolición del piso actual y posteriormente la excavación para hacer un semisótano. Debido a que ya existe una construcción alrededor del área asignada, se reforzarán los cimientos colocando sistemas de zapatas y losa de cimentación, como se presenta a continuación.

Tabla IX. **Propuesta de cimentación sistema suelos para el laboratorio**

Descripción	Unidad	Cantidad
1 - Preliminares		
1.001 - Limpieza	m ²	82.65
1.002 - Demolición de Piso hasta t; 0.20	m ²	46.88
1.003 - Excavación de Semi-sótano	m ³	137.22
1.004 - Demolición de Cimiento	m	32
2 - Cimentación		
2.001 - Zapata Z-1 1.40 x 1.40 x 0.40	U	2
2.002 - Zapata Z-2 1.40 x 1.40 x 0.40	U	2
2.003 - Cimiento CC - 1 0.30 x 0.20	m	15.8
2.004 - Losa de Cimentación t: 0.20	m ²	41.48
2.005 - Muerto M - 1 1.00 x 1.00 x 1.50	U	1
2.006 - Muerto M - 2 0.75 x 0.75 x 1.50	U	1

Fuente: información proporcionada por la empresa Bdoble Vdoble, S. A.

3.3.1. Cubierta del piso

La cubierta del piso es frecuentemente un problema y un motivo de compromiso. Debe ser resistente a las cargas y el desgaste, dura, no expuesta a retención de polvo o abrasión, que no produzca electricidad estática, que no resbale cuando esté mojada, fácil de limpiar y resistente al fuego.

El aglomerado de piedra de alta calidad resistente a las cargas o los mosaicos de cerámica puede servir en los pasillos, corredores y en los laboratorios húmedos.

En cualquier caso, la preparación para los pisos debe ser perfecta y resistente a las cargas y las losas u otra cubierta; debe ser lo suficientemente dura que resista sin fisuras o roturas, cargas concentradas producidas por una masa de al menos 100 kg sobre una superficie de solamente un centímetro cuadrado (1 cm²).

El piso del laboratorio tiene que ser de un material que brinde una superficie segura para trabajar, fácil de limpiar y resistente al impacto del equipo de medición que se utilizará dentro de las instalaciones del laboratorio. El piso que regularmente cumple con la mayor parte de los aspectos técnicos que se tienen que considerar para la selección de un tipo de material es el piso cerámico antideslizante.

Este es otro aspecto que se encuentra normado en el *Reglamento general sobre higiene y seguridad en el trabajo*, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).

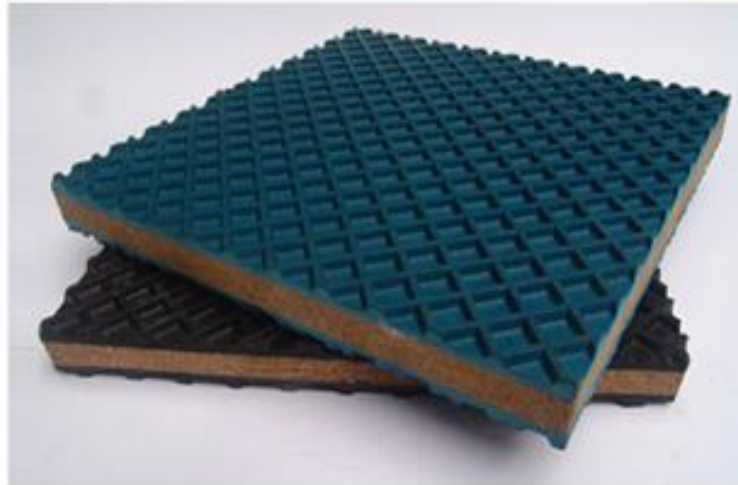
En este Reglamento se menciona lo siguiente: “El piso debe constituir un conjunto de material resistente y homogéneo, liso y no resbaladizo, susceptible de ser lavado y provisto de declives apropiados para facilitar el desagüe. Debe procurarse que toda la superficie de trabajo o pisos de los diferentes departamentos esté al mismo nivel; de no ser así, las escaleras o gradas deben sustituirse por rampas de pendiente no mayor de 15° (grados) para salvar las diferencias de nivel.

3.3.2. Vibración

Debido a que los sistemas electrónicos de las balanzas de alta precisión y analíticas son afectadas por las vibraciones, es importante que se tome en cuenta un tipo de placa antivibratoria para que sea colocada sobre el piso del laboratorio, de tal manera que ayude a evitar las vibraciones dentro de las instalaciones, para que no haya cambios o errores en las lecturas que muestren los equipos de medición, al momento de estar realizando un proceso de calibración con masas patrón o de trabajo. Además de esto es importante tomar en cuenta que las bases donde se coloquen las balanzas de precisión deben ser sólidas y en la superficie colocar material como el mármol o algún otro material resistente al impacto.

A continuación se muestra en la figura 8 una opción de placa antivibratoria, para colocar entre el piso y la cubierta en el laboratorio, ya que con esto se evitará que el equipo de medición tenga fluctuaciones importantes por la vibración.

Figura 8. **Propuesta de placa antivibratoria para el piso**



Fuente: empresa Ingeniería en Aislamientos, S. A.

3.4. Requisitos técnicos en la construcción

En función de los costos de construcción, puede ser aconsejable hacer uso de módulos dimensionales y materiales corrientes, pero se debe prestar especial atención a los arreglos de paredes dobles, aislamientos y acondicionamiento especial de aire para algunas de las áreas de laboratorio, mediante arreglos apropiados dentro de los límites impuestos por los módulos del edificio adoptados.

La construcción del laboratorio debe evitar la luz del sol directa (es decir, preferiblemente hacia el lado norte o noroeste en el hemisferio norte y hacia el sur o suroeste en el hemisferio sur). Las condiciones del área donde se realizará la construcción del laboratorio ayudan a que este aspecto de la luz de sol no afecte, porque ya se tiene una construcción que brinda sombra al diseño.

En cuanto a los materiales que se deben utilizar en el edificio principal del laboratorio de metrología, puede ser una estructura de hormigón armado con paredes hechas preferiblemente de ladrillos de alta calidad o, si no se dispone de estos, de bloques huecos de concreto.

Las separaciones de las paredes internas pueden ser hechas de ladrillo (lo que permite modificaciones cuando sea necesario).

Si las paredes del laboratorio no se pueden hacer de hormigón, entonces podrá utilizarse un material antivibratorio entre las dos paredes, esto con el fin de evitar la vibración hacia dentro de las instalaciones del laboratorio.

3.4.1. Las ventanas

No deben ser demasiado amplias (dos ventanas por módulo completo con paneles de vidrio de alrededor de 100 cm de ancho). La altura libre de la habitación en el interior será generalmente de al menos 3,20 m, de modo tal que permita la instalación de falsos techos para el acondicionamiento de aire en algunas de las habitaciones y en los pasillos.

3.4.2. Los pasillos

Deben ser lo suficientemente amplios (por lo menos de 2,3 m de ancho) de modo que se puedan mover fácilmente de un lado a otro las carretas o lagartos cargados con masas. Finalmente es muy importante que las escaleras y puertas sean lo suficientemente amplias para permitir que los equipos de medición y muebles para el laboratorio se puedan instalar con facilidad y trasladarlos cuando sea requerido (de 100 cm para laboratorio).

Es necesario un ascensor o polipasto para que los equipos pesados y voluminosos puedan moverse, de tal manera cuando las actividades de calibración de las masas o pesas se realizarán en el mismo laboratorio o para llevarlas a las instalaciones del cliente.

3.4.3. Estimados del espacio necesario

Por regla general es frecuentemente más fácil estimar el espacio necesitado para las actividades de los patrones primarios, que prever las especificaciones necesarias para el examen de los instrumentos y equipos que vienen de la industria y los servicios públicos. Las actividades del laboratorio están dirigidas a mantenerse estrictamente limitadas a la metrología con los sistemas de pesaje y el servicio de calibración de las masas o pesas patrones secundarios o de trabajo, que es el objeto de este trabajo de graduación.

Con base en las consideraciones anteriores, se puede estimar a continuación el espacio mínimo del piso.

Tabla X. **Propuesta de espacios recomendados para laboratorios**

ACTIVIDAD	ÁREA	UBICACIÓN
Laboratorio de patrones de masa que incluye la verificación de medidas de masa y balanzas de categoría II.	50 m ²	Sótano, acondicionamiento de aire especial
Examen de básculas de categorías III y IIII de hasta 30 kg	70m ²	Sótano (o planta baja)

Fuente: elaboración propia, de acuerdo con la Norma Internacional G-013.

3.5. Fuentes de energía eléctrica

Existen varios tipos de actividades de laboratorio que requieren de hecho la operación continua; otros pueden requerir que el poder esté apagado por razones de seguridad contra incendios en los períodos en que no se asistió a la sala de laboratorio.

Por ello, la conmutación de la energía a cada laboratorio debe llevarse a cabo de forma individual para cada habitación a través de un panel de interruptores convenientemente colocado en la entrada de la habitación. En consecuencia, será necesario proporcionar líneas de señales de baja potencia, especiales de cada laboratorio, para el panel de control cerca de la escalera, donde un vigilante puede ver qué laboratorios se energiza y comprobar si esta está motivada por un signo apropiado en la puerta de dicho laboratorio.

3.5.1. Requisitos del suministro eléctrico

Es importante que el suministro de energía eléctrica sea exclusivo de laboratorio y la carga no sea compartida con otras áreas, y otras actividades de la empresa. Para evitar caída de tensión se deben instalar equipos que amortigüen estas caídas (reguladores de tensión). También el laboratorio debe contar con una conexión a tierra de seguridad separada, que debe estar conectada de manera que, bajo ninguna circunstancia, pueda servir como neutral para una línea monofásica.

El laboratorio debe estar provisto de un suministro eléctrico trifásico, con varios tomacorrientes para que la carga sea bien distribuida.

La iluminación de las habitaciones y corredores, así como todo el aire acondicionado deben tener circuitos separados.

3.6. Iluminación

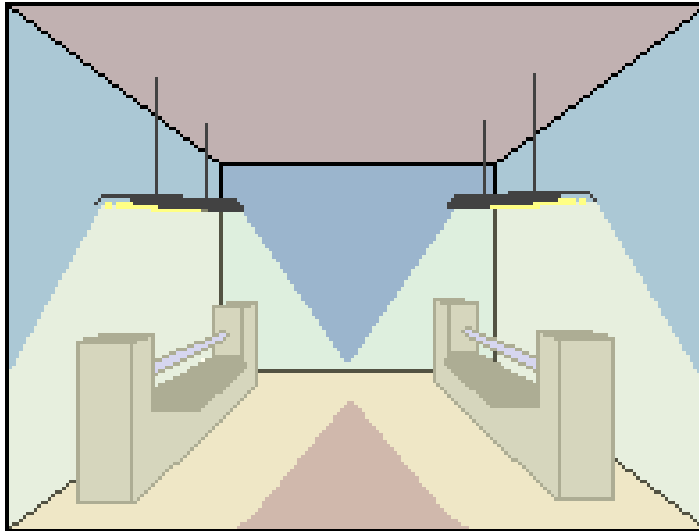
La iluminación es un factor importante en la construcción de cualquier tipo de edificio; se debe considerar tanto la iluminación natural para la reducción de costos producidos por la utilización de fuentes de iluminación artificial; sin embargo para este proyecto de laboratorio de calibración de masas es necesario tomar en cuenta los requisitos técnicos de las normas internacionales para la instalación de la iluminación.

El proyecto de iluminación se basa en el Reglamento general sobre higiene y seguridad en el trabajo, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en su título II, capítulo I.

Para una iluminación adecuada dentro del laboratorio de calibración, es importante tomar en cuenta factores fundamentales que se mencionan a continuación:

- Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie). En el caso evaluado, se recomiendan 1,080 lux al nivel de las mesas de trabajo.
- Uniformidad de la repartición de las iluminancias. Puede ser uniforme o localizada sobre las mesas de trabajo, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Ejemplo de iluminación para el laboratorio de calibración**



Fuente: *Fiusac. Manual de Ingeniería Eléctrica uno.* p. 1-10.

3.6.1. Tipos de iluminación para interiores

Según la radiación del flujo luminoso emitido por debajo de un plano horizontal que pase por el eje de la luminaria, se presenta con una dirección al objeto de 100 % a 90 % y una dirección contraria de 0 % a 10 %. Para el caso del laboratorio de calibración se aplicará este criterio.

La ubicación de las lámparas se solicita de forma colgante, a una distancia no mayor a los 3 m del nivel del piso del sótano.

3.6.2. Iluminación de seguridad y alumbrado de emergencia

La iluminación de seguridad y alumbrado de emergencia, son aspectos importantes en casos de emergencia.

En el *Reglamento de Lugares de Trabajo*, se menciona lo siguiente: “en caso de avería de iluminación, las vías y salidas de evacuación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad, los lugares de trabajo o parte de los mismos; en los que un fallo de alumbrado eléctrico normal suponga un riesgo para la seguridad de los colaboradores, se dispondrá de un alumbrado de emergencia para la evacuación y seguridad.

Debe ser una instalación fija, provista de su propia fuente de energía, poniéndose en funcionamiento cuando ocurra un fallo en la alimentación del alumbrado normal del laboratorio de calibración. La autonomía será de una hora como mínimo. Proporcionará iluminación adecuada en los puntos donde están situados los equipos de las instalaciones de protección contra incendios y en los cuadros de distribución del alumbrado y en los recorridos de evacuación.

3.6.3. Mantenimiento y factor de mantenimiento

Debe existir un programa de mantenimiento del alumbrado eléctrico bien planificado y ejecutado, para obtener una mayor eficiencia en la inversión y en el tiempo de vida de las luminarias. Hay tres elementos de mantenimiento que son variables y que afectan a la cantidad de flujo luminoso útil:

- Depreciación luminosa de la lámpara.
- Pérdida por acumulación de polvo y suciedad sobre la lámpara y superficie reflectora y transmisora de la luminaria.
- Pérdidas de luz reflejada en las paredes y techo.

Tabla XI. **Factor de mantenimiento para las luminarias**

Factor de mantenimiento bueno	Factor de mantenimiento medio	Factor de mantenimiento malo
0,7 a 0,75	0,6 a 0,7	0,5 a 0,6
Condiciones atmosféricas buenas, buen mantenimiento	Condiciones atmosféricas menos limpias, mantenimiento con poca frecuencia.	Condiciones atmosféricas bastante sucias, mantenimiento deficiente

Fuente: *Fiusac. Manual de Ingeniería Eléctrica I.* p. 1-10.

Por las condiciones ambientales controladas que se mantendrán dentro del laboratorio se considera que habrá un factor de mantenimiento apropiado al diseño.

3.7. Ventilación

Tiene aplicación en el control de ambiente para proteger contra riesgos físicos y las condiciones generales del equipo de medición. La ventilación puede ser considerada como una exigencia importante donde se realizan trabajos calientes y húmedos, donde será necesario mantener el confort de los colaboradores.

El laboratorio no debe ser influenciado por corrientes de aire; para evitar estas y para mantener la temperatura constante, el laboratorio debe tener ventanas dobles, y en lo posible, también puertas dobles (para bloqueo del aire). No se recomienda colocar las cortinas de paño o de otro material espeso delante de la puerta, porque podría dar lugar a que se levante el polvo. Debe estar tan exento de polvo como resulte posible y así debe ser mantenido.

La renovación del aire puede hacerse mediante ventilación natural o artificial, debiendo tenerse en cuenta la velocidad, forma de entrada, cantidad por hora y persona y sus condiciones de pureza, temperatura y humedad, con el objeto de que no resulte molesta o perjudicial para la salud de los colaboradores.⁶

3.8. Señalización de las áreas internas

Aunque en el laboratorio se cumplan con todos los requisitos de seguridad industrial, el factor más importante es el personal que labora internamente, para evitar incidentes y enfermedades profesionales.

Es importante señalar los recorridos de evacuación, salidas de emergencia, equipos de protección contra incendios, equipos de alarma y equipo de primeros auxilios, así como identificar adecuadamente cada una de las áreas donde se asigne el equipo delicado como balanzas de alta precisión, las masas patrón y los higrómetros que se utilizarán para medir las condiciones de las pruebas.

Debe estar debidamente identificada cada una área del laboratorio, por ejemplo con rótulos de un material resistente plástico o de vinil, la bodega de masas finas, ingreso de los patrones de masas, área de batas del personal, ingreso del personal, almacén de masas de alto alcance, área administrativa y área de transferencia, entre otras.

⁶ Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. *Reglamento de Seguridad e Higiene*. Art. 20.

3.8.1. Extintores

Es importante contar con equipo para sofocar conatos de incendios dentro del laboratorio, por eso deben colocarse extintores de dióxido de carbono (CO₂), ya que este agente extinguidor no afecta el equipo electrónico de alta precisión que se utilizará dentro del laboratorio.

En cada extintor debe ir marcada la identificación de la organización que concede el rótulo o lista al equipo, la prueba de fuego y la norma de desempeño que el extintor iguala o excede. También debe tomarse en cuenta que este tipo de extintores se debe recargar cada cinco años y mantenerse en lugares que no estén expuestos a altas temperaturas.

3.8.2. Botiquín de primeros auxilios

Las emergencias en los lugares de trabajo pueden ocurrir repentinamente. Puede que no haya suficiente tiempo para pensar, por lo tanto el tiempo de reacción es crítico.

Se debe contar con un plan de acción de emergencias que pueda reducir el tiempo de reacción y cambiar los resultados, por tal motivo es importante la implementación de un botiquín de primeros auxilios.

Un botiquín de primeros auxilios bien surtido y de fácil acceso puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Los botiquines de primeros auxilios pueden equiparse según requisitos especiales o adquirirse comercialmente.

No importa qué tan grande o pequeño sea el botiquín de primeros auxilios, es importante acordarse de revisar regularmente las fechas de expiración de los artículos (especialmente en el caso de las pomadas y medicinas) y de resurtirlo después de cada uso.

Se debe revisar constantemente y mantener lo necesario para cubrir las necesidades y emergencias que puedan presentarse dentro de las instalaciones del laboratorio.

3.8.3. Salidas de emergencia en el laboratorio

De acuerdo con el *Reglamento de Seguridad e Higiene* del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), cada local debe tener un número suficiente de salidas convenientemente dispuestas, para caso de incendio indicándose mediante señales, la dirección a seguir para llegar a ellas y colocándose cerca de las mismas y en sitio visible, avisos con la leyenda “Salida de emergencia”.

Por el tipo de diseño en el laboratorio de calibración de masas habrá una sola salida de emergencia, pero debe identificarse adecuadamente, y colocar un tipo de puertas que sean fáciles de abrir para evacuar a los colaboradores que se encuentren realizando las actividades de calibración de patrones de masa o pesas, cuando se presente algún evento de cualquier naturaleza, por ejemplo sismos, terremotos, incendio, entre otros.

4. DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

La distribución en planta del equipo de medición dentro del laboratorio de calibración de masas, consistirá en el ordenamiento físico (dónde) de los factores y elementos que participan en el proceso de calibración de los sistemas de pesaje, las masas de trabajo y en determinado momento las masas de los clientes.

El espacio físico dentro del laboratorio para desarrollar los procesos de calibración debe ser suficiente y amplio para que se pueda realizar cualquier actividad relacionada con el movimiento de las masas de trabajo, los sets de masas patrones y las balanzas que se utilizan para dicho proceso, considerando que se necesita un espacio físico mínimo aproximado de 3 metros cuadrados por persona y que cada actividad deberá estar aislada, para que no haya interferencia con los resultados obtenidos.

Dentro de las nuevas instalaciones del laboratorio, queda diseñada una bodega para el almacenamiento de las masas finas, ya que este tipo de equipo necesita estar bajo un ambiente controlado. Además también existirá un área asignada para almacenar las masas de alto alcance.

No es posible hacer un almacenamiento cruzado de las masas patrón, ya que se almacenan de acuerdo con el tipo de patrones, como se ha explicado en los capítulos anteriores.

4.1. Distribución a través del diagrama de relaciones de espacio

Este análisis se refiere a establecer la cercanía o lejanía necesaria entre cada uno de los departamentos. Para ello se elabora un diagrama de relación de actividades en el que se especifica la analogía. Este diagrama se realiza de la siguiente manera:

- Se listan todos los departamentos en el diagrama de relación.
- Se determina la relación entre cada uno de los departamentos preguntando al personal o a los administradores.
- Se establece en el diagrama la relación, asignando valores según la cercanía necesaria de la siguiente manera:
 - A: absolutamente necesario
 - E: especialmente necesario
 - I: importante
 - O: cercanía ordinaria
 - U: sin importancia
 - X: indeseable
- Se establece la razón por la cual es deseable o no la cercanía.
- Es necesario permitir al personal involucrado en los departamentos analizados que revisen y evalúen si es necesario algún cambio en el diagrama. De esta manera la relación de actividades se traduce como requerimientos de proximidad entre departamentos. Si dos actividades tienen una fuerte relación son colocados juntos dentro del laboratorio; si

dos actividades tienen una relación muy negativa, entonces en el laboratorio se colocarán alejadas uno de la otra.

La distribución del equipo se apoya en el diagrama de relaciones, ya que es una representación gráfica de las posibles relaciones cualitativas o causa-efecto entre diversos factores y un fenómeno determinado y de estos factores entre sí.

En el diagrama de relación por espacios se logra interactuar entre cada espacio, de manera muy ordenada, ya que por medio de circulaciones primarias, secundarias y terciarias, se le da esa jerarquía a cada lugar según su funcionamiento.

En este caso se elegirá el tipo de diagrama más idóneo, en función del objetivo de su construcción y de las características del diseño del laboratorio que es objeto de estudio en este trabajo de graduación.

4.1.1. Uso del diagrama de relaciones de espacio estructurado

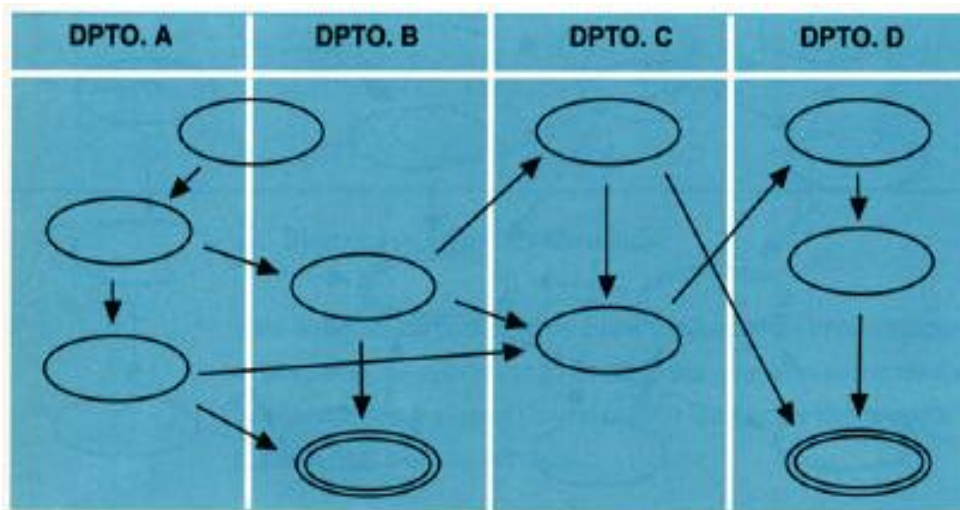
Para la distribución y el ordenamiento en el laboratorio de calibración de masas objeto de estudio del presente trabajo, se utiliza como primera opción este enfoque en donde se acoplan los factores del diagrama según una estructura que obedece a criterios relevantes para la construcción o utilización del mismo, que se mencionan a continuación. Criterios de estructuración frecuentemente utilizados son por ejemplo:

- Criterio según áreas de responsabilidad
- Criterio por departamentos

- Criterio siguiendo las fases de un proceso
- Criterio según una secuencia temporal

Este enfoque es también idóneo para representar problemas o situaciones en las que existen varios efectos u objetivos de similar nivel de importancia. Se determina la herramienta a utilizar para la obtención de los factores que deberán ser presentados en el diagrama, de acuerdo con las necesidades que se tengan dentro del laboratorio y atendiendo a las características y particularidades del equipo de trabajo y las actividades a realizar, como se muestra un ejemplo en la figura 10.

Figura 10. **Ejemplo de diagrama de espacio estructurado**

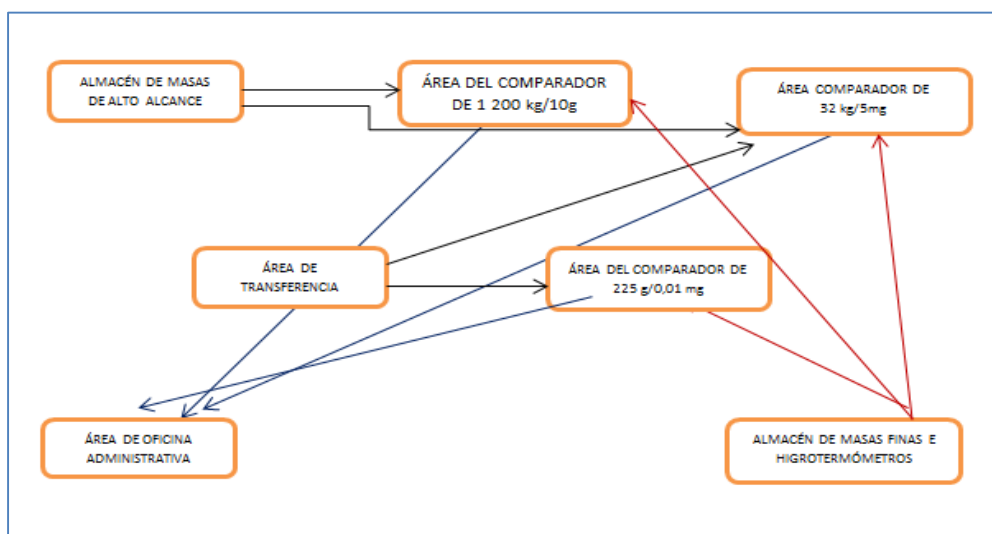


Fuente: *Tompkins. Systematic Layout Planning.* p. 38-43.

4.1.1.1. Distribución del equipo siguiendo las fases de un proceso

La propuesta de la distribución según el criterio, siguiendo las fases de un proceso, es la que mejor se adapta a las instalaciones actuales del laboratorio, tomando en cuenta la opción dos mencionada anteriormente, en la figura 9 se muestra la distribución más apropiada para el manejo del equipo y el espacio dentro del laboratorio de calibración de masas.

Figura 11. Propuesta de distribución según criterio fases de un proceso



Fuente: elaboración propia.

- Balanza comparadora de 1 200 kg. Para la instalación de la balanza o comparador de masas con capacidad de mil doscientos (1 200) kg y de alta exactitud, es necesario contar con mesas de pesar de diseño especial (en la mayoría de los casos con una placa de piedra como mesada), para evitar las vibraciones de este equipo de medición, ya que puede

descalibrarse y al momento que se esté utilizando se presenten lecturas erróneas. Para el caso de este laboratorio de calibración se tendrá en cuenta colocar el comparador de masas en el nivel de semisótano, ya que es ahí en donde será el lugar con menos vibración. Esta balanza estará en la misma línea donde se encuentra el polipasto que comunica al almacén de masas de alto alcance, para que el movimiento de las masas a calibrar no sea complicado.

- Balanza comparador de 32 kg. Al igual que en los requisitos anteriores, la balanza o comparador de masas con capacidad de treinta y dos (32) kg, y de alta exactitud, estará colocada en la misma área del comparador de 1 200 kg, por la alta sensibilidad que tiene y porque es de mayor precisión que la anterior. Les afecta los movimientos que se puedan dar en otras áreas (por ejemplo en el nivel de la superficie del laboratorio), para verificar el funcionamiento y revisiones periódicas. Este comparador también se encontrará en la misma línea que el almacén de masas de alto alcance para que su traslado no sea complicado.
- Balanza comparador de CPA225 g. Esta balanza comparador de masas debe estar sobre una base antivibratoria o mesa especial con un material resistente, ya que es de una mayor precisión que los otros dos comparadores en los incisos a y b. Debido que tiene una legibilidad de 0,1 mg, esto hace que sea de una alta sensibilidad en su interior. Es por eso que debe estar colocada en el área que se protegerá en el subnivel del laboratorio, y se encontrará en la cerca del almacén de masas finas e higrotermómetros.

Las balanzas de alta exactitud descritas en los incisos anteriores deben tener un lugar fijo, del cual no serán retiradas. Así, su exactitud no será afectada desfavorablemente por el transporte o su reordenamiento.

Para evitar que las balanzas sean afectadas desfavorablemente por golpes, los pies de las balanzas de alta exactitud deben estar ubicados sobre una base adecuada; para tal propósito resulta en general suficiente con las anillas de fieltro o caucho, zapatas expandidas de caucho u otros dispositivos amortiguadores especiales hechos por los fabricantes de balanzas.

Es posible asegurar la protección por medio de tres bases, que absorban las vibraciones de modos diferentes, como por ejemplo, corcho o caucho macizo, arena altamente seca o fieltro, generalmente es suficiente con una capa intermedia de 3 centímetros de espesor.

4.2. Área de almacenaje para las masas patrón y equipo de medición

Deben quedar identificadas adecuadamente las áreas para almacenaje de los patrones de referencia y de trabajo, de acuerdo con la clasificación de estos y el tipo de patrón. Los almacenes para los patrones deben cumplir con las especificaciones técnicas y las condiciones ambientales.

Como parte del almacenaje es importante también tener bajo condiciones adecuadas los medidores de temperatura y humedad relativa, ya que de las mediciones de estos, depende la calibración de las masas y los resultados obtenidos.

4.2.1. Área de almacenaje de masas finas e higrotermómetros

Dentro de las dos propuestas que se presentan en el inciso 3.1, se considera un área específica para almacenaje de las masas finas y masas patrón, que debe realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante, de ser posible; para el caso del diseño del laboratorio de calibración será de acuerdo con los requisitos de las normas internacionales, en donde debe tomarse en cuenta el control adecuado de la temperatura, el porcentaje de la humedad relativa, y estar en su embalaje original (si lo tienen), o empaque adecuado para evitar el deterioro. Se debe tomar en cuenta que dentro del laboratorio de calibración se almacenarán las masas menores o iguales a 20 kg y dependiendo de la clase de exactitud (ver capítulo 1).

Debido a la fineza de las masas patrón respecto de su incertidumbre, se debe tomar en cuenta la forma de almacenamiento, transporte y manipulación, ya que la falta de estos elementos puede degradar la exactitud original. Los higrotermómetros deben estar en sus estuches originales y evitar que se les ponga equipo encima o que estén expuestos a caídas, y a temperaturas elevadas.

En la opción dos que se presentan en capítulo tres de este trabajo de graduación, se registra un plano que da la distribución más recomendable para el funcionamiento adecuado del laboratorio de calibración de masas, ya que habrá una movilidad más eficiente que en la opción uno.

4.2.2. Área de almacenaje para las masas de alto alcance

En la opción más recomendable, que es la número dos, se tiene un área asignada para el almacenamiento de las masas de alto alcance, ya que debido a la difícil manipulación es necesario utilizar un polipasto para colocarlas en el área de los comparadores que tienen capacidad hasta de 1 200 kg, y es necesario que el traslado hacia alguna otra parte afuera del laboratorio pueda ser inmediata, por eso se seleccionó el área en la entrada del laboratorio en la parte superficial del mismo.

Aunque no se requiere un sistema como en el almacenamiento de las masas finas, en esta área es importante tomar en cuenta el control de la temperatura y la humedad, para evitar que las piezas se deterioren, por las condiciones inadecuadas.

Es importante el funcionamiento rápido para la recepción de las masas y no hacer perder tiempo al cliente, cuando vaya a dejar sus equipos de verificación o cuando tengan que manipularse dentro de las instalaciones del laboratorio.

4.3. Análisis de equipos sensibles

El equipo de medición que se utilizará dentro del laboratorio, debe estar bajo control respecto de sus condiciones ambientales, ya que por la resolución que tienen y la precisión que estipula el fabricante, es muy sensible al aire, al calor y a la vibración, por eso es que se deben tomar en cuenta todos los factores externos que puedan afectar los resultados en las mediciones que se realizarán.

Los instrumentos de medición realizan compensaciones térmicas con base en sus sensores internos, sin embargo por más que los sensores y el efecto de la compensación sean de alta calidad, no están exentos de errores e incertidumbre. De manera equivalente los coeficientes de expansión térmica (α) de las piezas a medir y de las escalas de los instrumentos, ingresan en la reducción de datos, aportando sus componentes de incertidumbre que es del orden del 10 % de su valor.

4.3.1. Balanzas de alta exactitud

- Si la balanza de alta exactitud está provista con un dispositivo de escala luminosa, el mismo debe ser conectado solamente durante la pesada.
- Toda balanza de alta exactitud que no esté siendo utilizada debe permanecer bloqueada y vacía.
- Toda balanza de alta exactitud que no esté siendo utilizada debe estar tapada con una cubierta protectora, de manera que impida el ingreso de polvo en su recinto.

A continuación se presenta en la figura 10 el modelo de una balanza o comparador de masas a utilizar en las instalaciones del laboratorio de calibración para los dos tipos que se utilizarán, y lo único que cambia es el rango de medición, como se describió con anterioridad.

Figura 12. **Balanza-comparador de alta exactitud**



Fuente: *Mettler Toledo Manual de pesas*. p. 16.

4.3.2. **Masas patrones**

- En el laboratorio o cada lugar donde se realice la calibración, se deben utilizar solamente las masas patrones (por lo menos de un orden superior al de las masas a ser verificadas) correspondientes al rango de pesaje de la respectiva balanza de alta exactitud; deben de estar anticipadamente con las condiciones ambientales de acuerdo con las normas mencionadas con anterioridad. Las masas de tara y las masas patrones deben ser

colocadas dentro del recinto de la balanza sobre una base de papel limpio o polietileno, para evitar que se rallen.

- Las masas pertenecientes a clases de mayor exactitud que tengan que ser verificadas, una vez retiradas de su estuche, deben ser guardadas en bandejas esterilizadoras con tapa que cierre perfectamente y ubicadas en la balanza un día antes de que se lleve a cabo el ensayo.
- Las masas remitidas para ensayar deben ser mantenidas en el laboratorio de ensayo (por ejemplo a $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$, como se indica en el inciso 2.3). No deben ser expuestas ni a un fuerte enfriamiento ni a un fuerte calentamiento repentino, a manera de evitar el empañamiento o la corrosión. Las cajas de las masas deben mantenerse cerradas y en buen estado para evitar el deterioro de estas; se les debe dar mantenimiento a las fundas, para que no se rayen, se empolven o se puedan agrietar por golpes accidentales (ver figura 13).

Figura 13. **Juegos o set de masas y su almacenamiento**



Fuente: instrumental en la empresa Sistemas de Pesaje.

4.4. Limitaciones prácticas

Entre las limitaciones que se pueden presentar en el laboratorio de calibración de masas, está la limitación de espacio, acceso y diseño, la competencia técnica del personal y la limitación del equipo para realizar las calibraciones de las masas.

Otro aspecto importante es la formación del personal que realizará las mediciones, ya que si no se toman en cuenta las condiciones internas de los instrumentos de medición y las condiciones externas como la temperatura, la humedad y la presión, no se podrán obtener resultados confiables.

Las buenas prácticas de laboratorio constituyen un sistema de garantía de calidad relativo al modo de organización de los estudios de seguridad, que deben existir en el estudio que se planifica, ejecuta, controla, registra, archiva y difunde.

- Capacitación del personal (antes, durante y después de la implementación de un sistema).
- Elaboración de la documentación.
- Implementación del control interno/externo.
- Proceso, inspecciones y auditoria externa e interna.
- Acreditación.

En la figura 14 se presenta un ejemplo de laboratorio de calibración, en donde se debe determinar la forma adecuada de colocar el equipo, para evitar las limitaciones prácticas.

Figura 14. **Ejemplo de aplicación de espacios prácticos en laboratorio**



Fuente. Laboratorio Nacional de Metrología.

4.4.1. Limitaciones físicas

El laboratorio debe adquirir masas para calibración, que se encuentren dentro del límite de tolerancia de la balanza y que suelen resultar muy costosas respecto del precio del instrumento. Las masas de calibración de alta precisión son muy sensibles a un uso incorrecto. El hecho de tocarlas con la mano desnuda puede afectar a su exactitud a largo plazo.

Las masas externas pueden perderse o extraviarse fácilmente sobre todo en un laboratorio lleno de instrumentos, por tal razón es importante que cada vez que se utilicen los patrones de referencia o de trabajo, es importante darles su mantenimiento respectivo y colocarlas en el estuche correspondiente.

4.4.2. Limitaciones técnicas

La calibración solo es válida para un rango de temperatura determinado. A medida que cambia la temperatura en el entorno del pesaje, la calibración del instrumento se ve afectada y se obtienen resultados de pesaje menos exactos. Para volver asegurarse de obtener resultados exactos, el usuario debe recalibrar la balanza.

Si se utilizan únicamente dos puntos de calibración, la balanza puede ser susceptible a dar una respuesta no lineal dentro del rango de pesaje.

Se deben evaluar las metodologías correspondientes para realizar las calibraciones, ya que es importante obtener datos y poderlos comparar, aplicar técnicas estadísticas y otros modelos matemáticos. Si no se tiene la capacidad de hacer ese análisis, muy difícilmente se podrán arrojar resultados en el certificado de calibración de los patrones que se vayan a calibrar.

Todas las medidas experimentales vienen afectadas de una imprecisión inherente al proceso de medida. Puesto que en este se trata, básicamente, de comparar con un patrón y esta comparación se hace con un equipo; la medida dependerá de la cantidad mínima que aquel sea capaz de medir, y esta cantidad va decreciendo con el progreso de la física en un proceso continuado, pero sin fin aparente.

Es decir que aunque cada vez se pueda dar la medida con más decimales, el siguiente decimal no podrá saberse por el momento.

4.4.3. Limitaciones de acceso

Es importante el tener el control del acceso al laboratorio de calibración de las masas, tanto de las personas ajenas, como de las partículas que puedan afectar el proceso de la calibración. Las ventanas y las puertas, deben tener un sistema de hermeticidad que evite el ingreso de agentes que puedan interferir en los resultados que se obtengan en la calibración; el aire acondicionado debe ser lo más puro dentro del laboratorio.

Se debe elaborar un procedimiento para el manejo de los instrumentos de medición, y tomar en cuenta que no se puede dar acceso a cualquier persona a las instalaciones del laboratorio, ya que esto puede causar variaciones en las condiciones ambientales que se estén manejando dentro del laboratorio. Por tal razón es importante que se restrinja el ingreso a las personas ajenas al laboratorio, y que los colaboradores que estén laborando dentro de las instalaciones del laboratorio, conozcan adecuadamente el procedimiento para el ingreso a las instalaciones del laboratorio.

Se debe manejar un procedimiento para el ingreso de las masas patrón al laboratorio cuando los clientes decidan llevarlas, ya que se tiene que tener un acceso restringido al personal que sea ajeno a los colaboradores que desarrollarán las actividades dentro de cada una de las áreas del laboratorio.

4.4.4. Limitaciones en el diseño

Si al momento de planificar el diseño del laboratorio no se toman en cuenta los lineamientos a los que se refieren las Normas OIML G13 (planificación de laboratorios de metrología y ensayo) y las normas mencionadas en el capítulo uno, los resultados obtenidos no serán confiables.

Es importante tomar en cuenta las especificaciones técnicas, en cuanto a construcción se refiere, que dan las normas internacionales relacionadas con los laboratorios de calibración, ya que en esto debe basarse el diseño del laboratorio, para que tenga las condiciones adecuadas y resultados más precisos de mediciones.

Se debe tomar en cuenta la Norma ISO/IEC 17025, que trata de los requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, porque de esa manera habría un mejor control sobre las instalaciones del laboratorio, ya que de no tomar en cuenta los lineamientos de las distintas normas que se describen en este trabajo de graduación, es imposible que pueda diseñarse de manera adecuada y que cumpla con los requisitos generales de fabricación de laboratorio.

Otro factor para la limitación del diseño del laboratorio puede ser que no se utilicen los materiales adecuados en su construcción, por eso es que se han mencionado las especificaciones de los distintos materiales que se deben utilizar con base en las normas internacionales y las de construcción, que son importantes para el diseño de este tipo de laboratorios.

4.5. Implementación del equipo de medición en el laboratorio

El equipo de medición a utilizar en el laboratorio, debe tener características especiales que puedan determinar resultados confiables y seguros al momento de realizar el proceso de calibración de las masas y de los instrumentos de pesaje.

Para el caso de las balanzas es necesario que cuando no se estén utilizando se les coloque su funda o guarda, para evitar que se adhieran partículas de polvo.

En el caso de los instrumentos como los higrómetros, termómetros, y los barómetros que se utilizarán para las mediciones de las condiciones ambientales dentro del laboratorio, estos tendrán un programa anual planificado para realizar su calibración externa, para evitar las variaciones fuera de rango, según las normas ya mencionadas.

Respecto de las masas patrón que se utilizarán (ver capítulo uno) en el proceso de calibración de las masas de trabajo de los clientes, inicialmente se ambientarán al menos unas 24 horas antes, para que puedan estar a las mismas condiciones del equipo que se va a utilizar para calibrarlas.

Los servicios realizados por el laboratorio involucran la calibración y la verificación interna de equipos, además de las evaluaciones dimensionales requeridas por la empresa.

El mayor porcentaje del equipo de medición a utilizar en el laboratorio de calibración de masas, son las balanzas de alta precisión, en diferentes rangos y mediciones, así como la resolución de cada una de ellas.

Es importante que al momento de la implementación del equipo de medición se elaboren procedimientos para la calibración de las masas patrón, tanto para el de los clientes como para la calibración interna del equipo de medición del laboratorio, como por ejemplo para las balanzas, higrómetros, medidores de humedad y temperatura, presión, entre otros.

Para la implementación del equipo de medición para un laboratorio de calibración, se calcula el equipamiento y se ejecuta la instalación intercalando pruebas intermedias durante el proceso que permitan mejorar la *performance* inicial. Se implementa la distribución de la tubería y las entradas y retornos de aire.

Para un óptimo funcionamiento de un laboratorio de metrología dimensional es absolutamente necesario el control de las condiciones y su estabilidad temporal dentro de estrechos rangos de tolerancia, siendo también requisitos en normas internacionales de los requisitos generales, para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

El laboratorio es una unidad estructurada y equipada con los medios, los instrumentos, las técnicas y la capacidad instalada necesaria para desarrollar las múltiples potencialidades de la formación, investigación y extensión de forma individual o combinada.

La calidad de los laboratorios está supeditada al grado de confianza que se le brinda al cliente, usuario o parte interesada sobre los resultados emitidos por el laboratorio. Igualmente a la capacidad por responder por los resultados; vista esta capacidad como los recursos físicos disponibles y adecuados, el control sobre el medio ambiente y de información personal, las habilidades y experiencias disponibles para realizar los análisis.

5. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS

El proceso de evaluación de los costos consiste en utilizar ciertos instrumentos o herramientas que provean la información adecuada, para tomar las decisiones de inversión, y demostrar que con esta propuesta de diseño del laboratorio se podrá emitir un juicio sobre la bondad o conveniencia del mismo.

El costo beneficio es una lógica o razonamiento basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana. Se supone que todos los hechos y actos pueden evaluarse bajo esta lógica; aquellos donde los beneficios superan los costos son exitosos, caso contrario fracasan.

El análisis costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.

El análisis de costo-beneficio es una herramienta de toma de decisiones para desarrollar sistemáticamente información útil acerca de los efectos deseables e indispensables de los proyectos públicos.

En cierta forma se puede considerar el análisis tanto de costo-beneficio del sector público como el de rentabilidad del sector privado.

El esquema general para el análisis de costo-beneficio se puede resumir de la siguiente manera:

- Identificar los beneficios para los usuarios, en relación con este trabajo de graduación.
- Cuantificar, en la medida de lo posible, estos beneficios en términos monetarios, de manera que puedan compararse diferentes beneficios entre sí y contra los costos de obtenerlos.
- Identificar los costos del patrocinador.
- Identificar, en la medida de lo posible, estos costos en términos monetarios para permitir comparaciones.
- Determinar los beneficios y los costos equivalentes en el período base, usando la tasa de interés apropiada para este trabajo de graduación.
- Aceptar el proyecto si los beneficios equivalentes de los usuarios exceden los costos equivalentes de los promotores ($B > C$).

Para este tipo de proceso del laboratorio se utilizará la evaluación de los costos directos. Los costos directos, son los costos y beneficios asociados directamente con el proceso productivo o la mayor disponibilidad en el servicio de calibración de las masas.

5.1. Recursos financieros

Los recursos financieros hacen referencia al presupuesto necesario para la operación del proyecto. Cualquier acción tiene un costo que es asumido por todas las partes comprometidas en su puesta en marcha.

Los recursos no necesariamente tienen que provenir de entidades especializadas en financiar proyectos. Aunque dependiendo de las especificidades, estos recursos externos pueden ser indispensables; los aportes principales provienen de los grupos de apoyo de influencia local y de las mismas comunidades participantes, cuando estos son públicos.

Los recursos financieros son los activos que tienen algún grado de liquidez. Las empresas generan estos recursos a partir de distintas actividades; en este caso el laboratorio generará recursos financieros a través de las calibraciones de masas de diferentes tipos de clientes a nivel nacional.

Para poder realizar una evaluación de los costos es importante inicialmente conocer la fuente de los recursos financieros, ya que con ello se podrán determinar los rubros necesarios a utilizar para este trabajo de graduación que es objeto de estudio; para ello se presentan los siguientes escenarios.

- Realizar la inversión, donde se pueda desembolsar un 50 % de capital propio y un 50 % con préstamo bancario, para contemplar la compra del equipo que se utilizará para el funcionamiento del laboratorio.
- Realizar la inversión con un préstamo bancario del 100 % a un plazo de cinco años; para poder pagar este es necesario dar a conocer los servicios

que prestará el laboratorio y los precios a los diferentes segmentos de clientes y así poder analizar el costo de oportunidad y el regreso de la inversión.

- Para el desarrollo del proyecto se cuenta con un análisis de las diferentes cotizaciones y datos financieros, que en promedio son Q700 000, 00.

5.2. Costo del equipamiento de acuerdo a las características técnicas

El costo del equipamiento para un laboratorio de calibración de masas, resulta caro en Guatemala, ya que es difícil la importación debido a los impuestos que se manejan, por tal motivo los costos se incrementan considerablemente, y el valor de los ensayos también aumenta al momento de prestar el servicio de la calibración.

El equipo que se utilice en el laboratorio, debe tener especificaciones y características técnicas que puedan dar resultados confiables y seguros; es lo más importante a utilizar en el laboratorio. Se encuentra un comparador de masas de alta precisión de capacidad 1200 kilogramos/10 gramos, comparador de 32 kilogramos/5 miligramos; una balanza de bajo rango (0 a 225 gramos/0,01 miligramo) y con una alta sensibilidad en la medición de las masas pequeñas, higrotermómetros para el control de la humedad y la temperatura.

El costo del equipo que se requiere en el laboratorio es alto, ya que se debe cumplir con las características que se registran en la Norma OIML R-76 “Instrumentos de pesaje no automáticos”.

5.2.1. Comparadores de masas

Los comparadores de masas que se adquirirán deben de garantizar el máximo rendimiento de las mediciones con plena trazabilidad de los resultados, ya que se tendrán dos rangos de equipos, que podrán registrar resultados bastante exactos.

A continuación, en la tabla XII, se presentan las especificaciones y capacidades de cada uno de los comparadores de masas, que determinan su calidad y su precisión.

Tabla XII. **Requisitos técnicos del comparador de masas**

Modelo	Carga máxima	Capacidad de lectura	Repetibilidad	Capacidad de pesaje por la OIML/ Clase de Masa				
				E1	E2	F1	F2	M1
XP320 03L	32,1 kg	5 mg	10 mg	--	--	20 kg	5-20 kg	2-20 kg
XP100 3KM	1100 kg	0.5 g	3 g	--	--	1000 kg	500-1000 kg	100-1000 kg
CPA22 5D	100\ 220 g	0,01\ 0,1 mg	0,05\ 0,1 mg		100-200 g	1g - 200 g	50 mg – 200 g	1 mg- 200g

Fuente: *Mettler Toledo*. Manual de pesas OIML. p.16.

5.2.2. Balanza analítica o comparador CPA 225D

En la figura 14 se ilustra el modelo de la balanza- comparador, para calibrar masas de bajo rango (1 gramo a 200 gramos), donde su costo es elevado, debido a la precisión y condiciones de sensibilidad internamente. Sus características son:

- Es una pesa o balanza de calibración interna accionada por motor: La mayor precisión en la pesada pulsando simplemente una tecla.

- Función de calibrado y ajuste iso-CAL. Calibrado/ajuste totalmente automático a intervalos periódicos gracias a esta función, lo que garantiza siempre una gran exactitud en la balanza.
- Pantalla retroiluminada; tamaño de dígitos 16 mm, lectura sin errores de los valores de pesada en cualquier situación de iluminación.
- Protector contra corrientes de aire de grandes dimensiones; fácil de limpiar.
- Célula de pesaje monolítico, innovadora y patentada para extraordinario rendimiento.

Figura 15. **Balanza analítica de alta precisión**



Fuente: *Sartorius*. Manual de especificaciones de balanzas. p.2.

5.2.3. Termohigrómetros digitales

El costo del termohigrómetro es relativamente bajo en relación con el de los comparadores de masas, ya que este equipo se utiliza para medir las condiciones de temperatura y la humedad relativa en el interior de laboratorio de calibración.

La evaporación de la humedad en la ampolleta de un termómetro baja la lectura de este en relación con el otro termómetro, el cual indica la temperatura ambiente del cuarto. Las temperaturas se comparan y luego se transforman en humedad relativa, empleando la tabla que acompaña a este artículo.

Figura 16. **Ejemplo de modelo de termohigrómetro para el laboratorio**



Fuente: *Mettler*. Manual de especificaciones para equipos de laboratorio. p. 1-15.

Tabla XIII. **Costos para obtención del equipo y masas**

Inversión en equipo		
Cantidad	Descripción del equipo	Inversión
1	Masa F1 1 kg	\$ 638,99
2	Masa F1 2 kg	\$1 597,49
1	Masa F1 5 kg	\$958,49
1	Masa F1 10 kg	\$1 277,99
1	Masa M1 500 kg	\$1 916,98
	Subtotal	\$ 6 389,94
1	Comparador de 1200 kg/10 g	\$ 6 768,50
1	Comparador de 32 kg/ 5 mg	\$ 5 801,55
3	Higrotermómetros (°C/ % humedad)	\$1 933,85
1	Comparador de 225 g/0,01 mg	\$ 4 834,50
	Subtotal	\$19 338,40
	Total	\$25 728,34

Fuente: elaboración propia.

5.3. Costo del funcionamiento del laboratorio

El costo representa el gasto de la prestación del servicio en el laboratorio y las actividades relacionadas con el funcionamiento del laboratorio y representa el desembolso de una cantidad en dólares americanos de aproximadamente \$78 766,67, que sería equivalente a los Q700 000,00. Esto es debido a que se necesita equipo de medición de alta precisión y a una infraestructura que cumpla con las condiciones ambientales controladas.

Al determinar el costo se podrá determinar el precio de venta del servicio que se va a prestar dentro y fuera de las instalaciones del laboratorio, ya que se tendrán que evaluar factores como, el traslado del equipo y del personal, el tiempo y las distancias.

5.3.1. Mano de obra

Para este caso se aplica el costo de mano de obra directa, ya que se contará con ella para poner a funcionar el laboratorio de calibración de masas; se debe tomar en cuenta que se necesitan tres personas. Un auxiliar de metrología, un asistente de metrología y un jefe de metrología. Además de esto se tiene que realizar un programa de capacitación y formación de temas relacionados con la calibración de patrones de masa.

En la tabla XIV se describe el puesto y la propuesta de sueldo de acuerdo con lo que se maneja en el mercado.

Tabla XIV. **Propuesta de salario anual para el personal del laboratorio**

Nombre del puesto	Salario	Jornada
Jefe de metrología	Q120 000,00	Diurna (lunes a viernes)
Asistente de metrología	Q 78 000,00	Diurna (lunes a viernes)
Auxiliar de metrología	Q 36 000,00	Diurna (lunes a viernes)
Total	Q. 234 000,00	\$30 400,00

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la propuesta del Departamento de RRHH.

El salario anual para cada uno de los tres puestos, se estima de acuerdo con una jornada diurna mixta, en donde su horario de labores será de lunes a viernes de 8:00 a.m. 6:00 p.m.; además del sueldo, se contemplan las prestaciones de ley y otros estímulos monetarios por productividad, con base en el número de días laborables por año.

5.3.2. Materiales e insumos

Se tendrán en cuenta la compra de guantes para agarrar las masas y realizar el proceso de calibración, pinzas de material adecuado que evite rayar las masas, paños de tela especial para la limpieza de cada uno de los diferentes sets o juegos de masas que se encuentren dentro del laboratorio. A continuación se muestran datos de la inversión para la construcción y mobiliario y equipo.

Tabla XV. **Propuesta para la obra civil**

Cantidad	Descripción de obra civil	Inversión
83 m ²	Cubierta de concreto	\$20 973,33
2	Fosa de 1,5 m de profundidad	
1	Acometida eléctrica y lámparas	
1	Techo falso y tabiques	
2	Puertas de vidrio	
200	<i>Blocks</i> (levantado de pared)	
1	Columna de 1,5 m de profundidad	
2	Impermeabilizar fosa y columna	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Propuesta de mobiliario para el laboratorio**

Cantidad	Descripción de mobiliario	Inversión
1	Deshumidificador	\$1 665,00
1	Mueble para almacenar patrones	
2	Sillas altas	
1	Aire acondicionado <i>minisplit</i>	
1	Alfombra atrapa polvo	

Fuente: elaboración propia.

5.4. Costo del mantenimiento (limpieza, pintura, aire acondicionado)

Para un funcionamiento óptimo de un laboratorio de metrología es absolutamente necesario el control de las condiciones ambientales y su estabilidad temporal dentro de estrechos rangos de tolerancia, siendo además un requisito técnico expresado en el apartado 5.1 de la Norma ISO/IEC 17025 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y/o calibración”.

El costo del mantenimiento se calcula con base en un programa preventivo de mantenimiento y calibración, para el adecuado funcionamiento de los equipos e instrumentos del laboratorio y para el cuidado correcto de las instalaciones y la pureza del aire acondicionado.

5.4.1. Estrategias de mantenimiento

Para llevar a cabo tanto el mantenimiento preventivo como correctivo, se considerarán tres situaciones diferentes, de las cuales una de ellas puede ser óptima para el laboratorio:

- **Mantenimiento predictivo:** las fallas se detectarán por el monitoreo de las condiciones de operación. Se ejecuta siguiendo el calendario propuesto y no requiere de poner fuera de operación los equipos. Se utilizarán las inspecciones, la revisión de condiciones y el análisis de tendencias.
- **Operar hasta la falla:** esta situación no requiere planificación, sino que se espera que al momento de la falla o avería se puede contar con el personal del departamento técnico, las herramientas y los repuestos

necesarios para atender la emergencia en el menor tiempo posible. Esta es la menos deseable.

- Mantenimiento programado: se debe llevar a cabo a intervalos regulares, tratando de no interrumpir las actividades del laboratorio (cuando no estén operando el equipo). Se involucrará una planificación de limpieza, cambios de repuestos, de ser necesario, y el personal para realizar dicho mantenimiento.

Debido a la importancia del mantenimiento preventivo en la prolongación de la vida útil de los equipos del laboratorio de calibración de masas, se han determinado pasos generales para cumplir con un mantenimiento del equipo de y a través de las siguientes actividades se puede lograr la efectividad del mismo:

- Inspección de condiciones ambientales en la que se encuentra el equipo (se realizará tres veces al año). Se observan las condiciones del ambiente en las que se encuentra el equipo, ya sea en funcionamiento o en almacenamiento. Los aspectos que se recomienda evaluar son: humedad, exposición a vibraciones mecánicas, presencia de polvo, seguridad de la instalación y temperatura.
- Limpieza integral interna del equipo (mensualmente): eliminar cualquier vestigio de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos, entre otros, en las partes externas que componen el equipo, mediante los métodos adecuados, según corresponda, esto podría incluir:
 - Limpieza de residuos potencialmente infecciosos, utilizando desinfectantes bactericidas no residuales ni corrosivos.

- Limpieza de tabletas electrónicas, contactos eléctricos, conectores, utilizando limpiador de contactos eléctricos, aspirador, brocha.
- Inspección externa del equipo de medición (mensualmente). Examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes, tapas, entre otros, tales como mangueras, chasis, cordón eléctrico, conector de alimentación, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo o correctivo.
- Reemplazo de partes defectuosas (cuando aplique). La mayoría de los equipos tienen partes diseñadas para gastarse durante el funcionamiento del equipo, de modo que prevengan el desgaste en otras partes o sistemas del mismo. Ejemplo de estos son los empaques, los dispositivos protectores, los carbones, etc. El reemplazo de estas partes es un paso esencial del mantenimiento preventivo, y puede ser realizado en el momento de la inspección.
- Lubricación (trimestral o cuando se necesite). Lubricación de motores, bisagras, baleros, y cualquier otro mecanismo que lo necesite. Puede ser realizado en el momento de la inspección, y deben utilizarse los lubricantes recomendados por el fabricante o sus equivalentes.
- Revisión de seguridad eléctrica (semestralmente). La realización de esta prueba dependerá del grado de protección que se espera del equipo en cuestión.

- Pruebas funcionales completas (en cada revisión). Además de las pruebas de funcionamiento realizadas en otras partes de la rutina, es importante poner en funcionamiento el equipo junto con el operador, en todos los modos de funcionamiento que este posea, lo cual además de detectar posibles fallas en el equipo, promueve una mejor comunicación entre el técnico y el operador, con la consecuente determinación de fallas en el proceso de operación por parte del operador o del mismo técnico.
- Ajuste y calibración (cada vez que se realice la limpieza integral). En el mantenimiento preventivo es necesario ajustar y calibrar los equipos. Para esto deberá tomarse en cuenta lo observado anteriormente en la inspección externa e interna del equipo, realizar mediciones de los parámetros más importantes de este, de modo que sea acorde a normas técnicas establecidas, especificaciones del fabricante o cualquier otra referencia. Luego de esto debe realizarse la calibración que se estime necesaria, poner en funcionamiento el equipo y realizar la medición de los parámetros correspondientes; estas dos actividades serán necesarias hasta lograr que el equipo no presente signos de desajuste.

5.5. Relación del costo-beneficio

El análisis del costo-beneficio pretende determinar la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de este trabajo de graduación. Aplicando los métodos del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos, la opción del préstamo bancario del 100 % se descarta, debido a que se tendrá que pagar el doble de intereses y tardará diez años el pago del préstamo.

Se determina que la mejor opción para desarrollar el presente proyecto objeto de estudio, es donde la empresa desembolse el 50 % de la inversión y realice un préstamo bancario para obtener el otro 50 %, como se muestra en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Porcentaje de inversión**

Inversión total	% de inversión	Valor (\$)
Capital propio	50 %	\$ 39 400,00
Capital ajeno (préstamo bancario)	50 %	\$ 39 400,00
TOTAL	100 %	\$ 78 801,00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVIII se observa el cálculo del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos; se utilizó una tasa de descuento del 10 %.

Tabla XVIII. **Cálculo de la VAN, TIR y relación B/C**

VALOR ACTUAL NETO					TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	
Periodos	Inversión	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$	Tasa de descuento	VAN
0	\$ -78,801.00	\$ -78,801.00		\$ -78,801.00	0%	\$103,599.00
1		\$ 17,800.00	1.10	\$ 16,181.82	5%	\$ 61,597.86
2		\$ 17,800.00	1.21	\$ 14,710.74	10%	\$ 32,603.31
3		\$ 17,800.00	1.33	\$ 13,373.40	15%	\$ 11,963.06
4		\$ 18,000.00	1.46	\$ 12,294.24	16%	\$ 8,566.98
5		\$ 18,000.00	1.61	\$ 11,176.58	17%	\$ 5,372.38
6		\$ 18,000.00	1.77	\$ 10,160.53	18%	\$ 2,364.20
7		\$ 18,500.00	1.95	\$ 9,493.43	19%	\$ -471.29
8		\$ 18,500.00	2.14	\$ 8,630.39	20%	\$ -3,146.66
9		\$ 19,000.00	2.36	\$ 8,057.85	25%	\$ -14,492.01
10		\$ 19,000.00	2.59	\$ 7,325.32	30%	\$ -23,208.70
				\$ 111,404.31	35%	\$ -30,046.02
					40%	\$ -35,510.22
	VAN	\$ 32,603.31	VPB	\$ 111,404.31		
	TIR	18.8%	VPC	\$ 78,801.00		
	Relación B/C	1.41				
	Tasa de descuento	10%				

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, el proyecto será rentable o conveniente debido a que el valor actual neto es positivo \$32 603,31; una tasa interna de retorno de 18,8 %; y la relación beneficio-costos es de 1,41; con el análisis realizado se puede mencionar que el VAN después del año seis es mayor que cero. El préstamo bancario se cancelará en un período de cinco años; el valor de la cuota mensual según lo acordado con el banco será de \$ 958,13 y se obtendrá un escudo fiscal de \$ 18 087,89 de acuerdo con la tabla XIX.

Tabla XIX. **Amortización del préstamo**

Importe del Préstamo	\$ 39 400,00
Tasa de interés anual	16 %
Plazo de préstamo (años)	5
No. de pagos al año	12
Fecha inicial del préstamo	01/01/2015

Resumen del préstamo	
Pago programado	\$ 958,13
No. de pagos programados	60
No. de pagos reales	60
Interés total	\$ 18 087,89

Fuente. elaboración propia.

5.5.1. Costo de inversión

En la tabla XX se presenta la propuesta de los costos de inversión estimados que se deberían de utilizar para el funcionamiento adecuado del laboratorio de calibración de masas y su equipamiento, tomando en cuenta que el servicio será diferente al de calibración de instrumentos de pesaje (balanzas).

Tabla XX. **Propuesta de inversión total**

Concepto	Valor monetario
Equipo y masas de calibración	\$ 25 728,00
Mano de obra (año)	\$ 30 400,00
Materiales e insumos	\$ 20 973,33
Mobiliario y equipo	\$ 1 700,00
TOTAL	\$ 78 801,33

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la empresa.

5.5.2. Evaluación del potencial de venta del servicio

Debido a la necesidad de las empresas clientes que utilizan masas de trabajo en sus procesos, se ha podido determinar que se puede encontrar un nicho de mercado importante, de tal manera que en la siguiente tabla se muestra un estimado del potencial de ventas que se puede generar, luego de poner en marcha este proyecto del laboratorio de calibración de masas.

Tabla XXI. **Ejemplo del potencial de ventas del servicio de calibración**

Potencial de venta de servicio de calibración de masas					
Clase	Capacidad a calibrar		Precio x calibrar, Unidad	Mercado potencial	Total
	Desde	Hasta			
M3	20 g	1 kg	\$8,00	30	\$240,00
M3	2 kg	10 kg	\$15,00	100	\$1 500,00
M3	20 kg	50 kg	\$20,00	120	\$2 400,00
M3	500 kg	1000 kg	\$470,00	10	\$4 700,00
M2	200 g	1 kg	\$8,00	20	\$160,00
M2	2 kg	10 kg	\$15,00	50	\$750,00
M2	20 kg	50 kg	\$20,00	50	\$1 000,00
M2	500 kg	1000 kg	\$490,00	10	\$4 900,00
M1	500 g	1 kg	\$8,00	10	\$80,00
M1	2 kg	10 kg	\$15,00	20	\$300,00
M1	20 kg	50 kg	\$20,00	40	\$800,00
F2	2 kg	20 kg	\$20,00	50	\$1 000,00
VENTA POTENCIAL SERVICIO DE CALIBRACIÓN DE MASAS A CLIENTES:					\$17 830,00

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis realizado en la empresa.

5.5.3. Beneficio en la Implementación del laboratorio

Invertir en el diseño, construcción y puesta en marcha del laboratorio de calibración de masas tendría beneficios internos y ahorro para la empresa, ya que esto evitaría gastos grandes en el extranjero para el transporte, y la recalibración y verificación periódica de las masas. Este procedimiento se haría dentro de las instalaciones del laboratorio, porque se contaría con el equipo necesario y adecuado para realizar dichas calibraciones y verificaciones, estableciendo un programa de calibración anual.

A continuación se muestra la tabla XXII con la propuesta del estudio de ahorro que se puede alcanzar con la construcción del laboratorio.

Tabla XXII. **Ejemplo de ahorro a obtener en la construcción del laboratorio**

AHORRO POR INVERTIR EN EL LABORATORIO DE MASAS				
Clase	Capacidad	Cantidad en Inventario	Precio por calibrar/ Unidad	Total
F2	5 kg	3	\$20,00	\$60,00
F2	10 kg	1	\$20,00	\$20,00
M1	1 kg	3	\$8,00	\$24,00
M1	2 kg	2	\$8,00	\$16,00
M1	5 kg	2	\$15,00	\$30,00
M1	10 kg	1	\$15,00	\$15,00
M1	20 kg	113	\$23,00	\$2 599,00
M2	1 kg	1	\$8,00	\$8,00
M2	2 kg	3	\$10,00	\$30,00
M2	20 kg	11	\$23,00	\$253,00
M3	20 kg	1	\$23,00	\$23,00
M1	1000 kg	14	\$472,00	\$6 608,00
M1	500 kg	2	\$470,00	\$940,00
Flete estimado masas 20 kg (se calibran en El Salvador):				\$1 730,00
Flete estimado masas 1 ton (México o Costa Rica):				\$12 800,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Debido a que en Guatemala y en la región no se cuenta con un laboratorio certificado para realizar estas actividades, resulta importante llevar a cabo la propuesta y ejecución de este trabajo de graduación, y así contar con la capacidad de prestar el servicio de la calibración de masas para las empresas que tengan la necesidad de tener calibrado su equipo y la calibración interna del laboratorio.
2. De acuerdo con las necesidades que tiene el país, para que las empresas puedan exportar sus productos con el peso exacto y no recibir amonestaciones o rechazos por la falta de medida exacta, se realiza esta propuesta para el beneficio de las empresas que quieran un servicio de calidad y competente.
3. En la etapa preliminar de la construcción y montaje de un laboratorio, la ejecución de un plan de riesgos y puntos críticos de sus instalaciones están paralelamente vinculados con el proceso de competencia y acreditación del mismo, ya que se debe prestar mucha atención a la etapa de construcción y de la cimentación para evitar las vibraciones dentro del laboratorio; en el capítulo dos se mencionan las condiciones para el funcionamiento del laboratorio.
4. Se desarrolló un estudio con varias empresas de construcción y profesionales para determinar cuáles son las mejores opciones de construcción de acuerdo con el espacio que se tiene estimado para el diseño del laboratorio y sus etapas de construcción.

5. En el campo del diseño de los laboratorios de calibración de masas, existen diversas variables que deben considerarse. Dentro de estas las más importantes son la temperatura, la humedad y la planificación en la construcción e infraestructura de las instalaciones, ya que hay requisitos internacionales que se deben cumplir para que sea un laboratorio competente.

6. A cualquier pesa o masa que se utilice en las empresas, para llevar el control de las pesadas de sus materias primas o productos, se deben realizar calibraciones periódicas para verificar el estado de las mismas y en algún momento dar el servicio de mantenimiento, para posteriormente realizar la comparación respecto de la clase donde se ubican, y comprobar si aún se mantienen dentro de esta, tomando como referencia los requisitos de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML).

RECOMENDACIONES

1. Se debe buscar apoyo del Centro Nacional de Metrología en Guatemala, para tener una mejor competencia a nivel internacional y optar a las acreditaciones necesarias para que tenga reconocimiento.
2. Visitar a los clientes que ya se tienen en cartera, con el propósito de informar y ofrecer el nuevo servicio de calibración de masas y cómo va ayudar a sus procesos de fabricación o de servicios.
3. Es importante realizar un levantamiento de los planos concernientes a la estructura que se debe construir, para que el laboratorio pueda tener bases sólidas desde los cimientos, condiciones ambientales y confortables.
4. Se debe tomar en cuenta la forma de almacenamiento de las pesas o masas, para evitar su deterioro antes de tiempo de vida y que puedan mantenerse en la misma clase o clasificación y evitar gastos seguidos para la compra pronta.
5. La capacitación adecuada del personal que se va a hacer cargo del laboratorio es importante para que se puedan obtener resultados satisfactorios en el funcionamiento del mismo.
6. Mantener un programa de limpieza y mantenimiento para las masas patrón y las de trabajo, antes y después de que se utilicen, así como de las balanzas que sean utilizadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
2. BIETRY, L. *Diccionario "METTLER" de términos de pesada*. Centro Español de Metrología, 2011. 25 p.
3. Buró Internacional de Pesas y Medidas. *Vocabulario internacional de metrología .JCGM 200*. México: BIPM. 2008. 88 p.
4. International Standard Organization. *Lineamientos para la información y documentación de las referencias bibliográficas y citas de fuentes de información. ISO 690*. 3a ed. Suiza: 2010. p. 3-20.
5. Organización internacional de normalización. *Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y/o calibración. ISO/IEC 17025*. 2a ed. Suiza: 2005. 30 p.
6. JOJ CHIQUITÓ, Rafael. *Manual de fabricación y calibración de masas patrón de acuerdo con los distintos sistemas y su comparación*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 104 p.

7. MARBAN, Rocío; PELLECCER, Julio. *Metrología para no metrologos*. 2a ed. Guatemala: 2002. 146 p.
8. METTLER TOLEDO. *Laboratory & Weighing Technologies*. 11796033. 5a ed. Suiza: Global MarCom Switzerland, 2011. 16 p.
9. National Institute of Standards and Technology. *Good laboratory practice for the quality assurance of the measurement process*. Estados Unidos: NIST, 2012. 35 p.
10. Organización Internacional de Metrología Legal. G 13. *Planificación de los laboratorios de metrología y ensayos*. Francia: OIML, 1989. p 3 -34.
11. _____. *Metrological and technical requirements 111-1 Part 1. TC 9/SC 3 Weights*. Francia: OIML, 2004. 129 p.
12. _____. *R-76-1. Requisitos metrológicos y técnicos para instrumentos de pesaje no automáticos*. Francia: OIML, 1992. 144 p.
13. Centro Nacional de Metrología. *Informe del Sistema Internacional de Unidades*. México: CENAM, 2010. 20 p.

ANEXOS

Anexo 1 Ejemplo de certificado de calibración (hoja 1/2)

ACREDITADO OGA-LC-010-05		SPCC-01					
Certificado de Calibración		Hoja 1/2					
Solicitante: Dirección del Solicitante:							
Identificación del Certificado: Fecha de calibración: Fecha de emisión: Objeto de calibración: Capacidad máxima: Intervalo de escala (d): Marca: Modelo: Serie No.: Código de identificación interna: Lugar de calibración:							
Método de calibración: Norma DIML R 76-1							
Descripción de patrones utilizados:							
Cent.	Instrumento	Valor Nominal	Marca	Modelo	Serie	No. Certificado de calibración	Código de identificación
Condiciones ambientales promedio:			Temperatura:	°C	Humedad Relativa:	%	
Trazabilidad de los patrones:							
Incertidumbre de los datos reportados:			Ver hoja de resultados.				
Observaciones: El presente certificado únicamente ampara las mediciones realizadas en el momento en que se realizó la calibración. Es responsabilidad del encargado del instrumento establecer la frecuencia del servicio de calibración. No se permite reproducciones parciales de este documento sin la aprobación expresa de SIPESA.							
Sello:		Realizó:		Autoriza:			
		Técnico		Jefe Departamento de Metrología			
Anillo Periférico 17-36, zona 11. 01011 Guatemala, C. A. Tel.: (502) 2474-9300 Fax: (502) 2473-3317. E-mail: sipesa@disagro.com							

Continuación del anexo 1.

Sistemas de Pesaje, S. A.

ACREDITADO
OGA-LC-010-05

SPCC-01

Certificado de Calibración

Hoja 2/2

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:

Solicitante:
Identificación del Certificado:

I. Excentricidad

Carga:

Sección	Indicación ()	Diferencia absoluta ()
Centro (1)		
Superior Izquierdo (2)		
Superior Derecho (3)		
Inferior Derecho (4)		
Inferior Izquierdo (5)		

Máxima diferencia :

II. Repetibilidad

Carga:

No. de Repetición	Indicación ()
1	
2	
3	
4	
5	
Promedio	
Dev. Estándar	

Carga:

No. de Repetición	Indicación ()
1	
2	
3	
4	
5	
Promedio	
Dev. Estándar	

III. Linealidad

No.	Carga ()	Indicación ()		Desviación ()	
		Creciente	Decreciente	Creciente	Decreciente
1					
2					
3					
4					
5					
6					

* Incertidumbre expandida con un nivel de confianza de 95,45 % k = ±

IV. OBSERVACIONES: El equipo se calibró hasta

--- FIN DEL DOCUMENTO ---

Anillo Periférico 17-36, zona 11, 01011 Guatemala, C. A. Tel.: (502) 2474-9300 Fax: (502) 2473-3317. E-mail: sipesa@disagro.com

Fuente: Departamento de Metrología.




Anexo 2. Ejemplo de masas para pruebas rutinarias

CarePacs®

CarePacs® Profesionales para pruebas rutinarias

Realice las pruebas rutinarias de las balanzas en forma segura, con las pesas que usted necesita, solamente dos. Ahorre tiempo y dinero con un METTLER TOLEDO CarePac®. Esto significa que usted puede tener confianza de que logrará unos resultados de medición exactos. Los CarePacs® incluyen pinzas, guantes y otros accesorios para un manejo profesional de las pesas.

Tres tamaños de CarePacs® permiten probar balanzas de hasta 8 kg de capacidad.



SOPs (Procedimientos Estándar de Operación) para asegurar exactitud
Las pruebas de rutina son uno de los tres aspectos importantes para un registro de la exactitud de una balanza. Los Procedimientos Estándar de Operación de METTLER TOLEDO le dan una guía clara de como llevar a cabo esta tarea de manera segura.

Mantenga las tolerancias de proceso
Para realizar las pruebas rutinarias con pesas externas, los CarePacs® ofrecen una manera conveniente y económica para minimizar los riesgos de trabajar fuera de las tolerancias específicas del proceso.

Fuente: CarePacs Profesionales.

Anexo 3. Recomendación de las tolerancias según la OIML

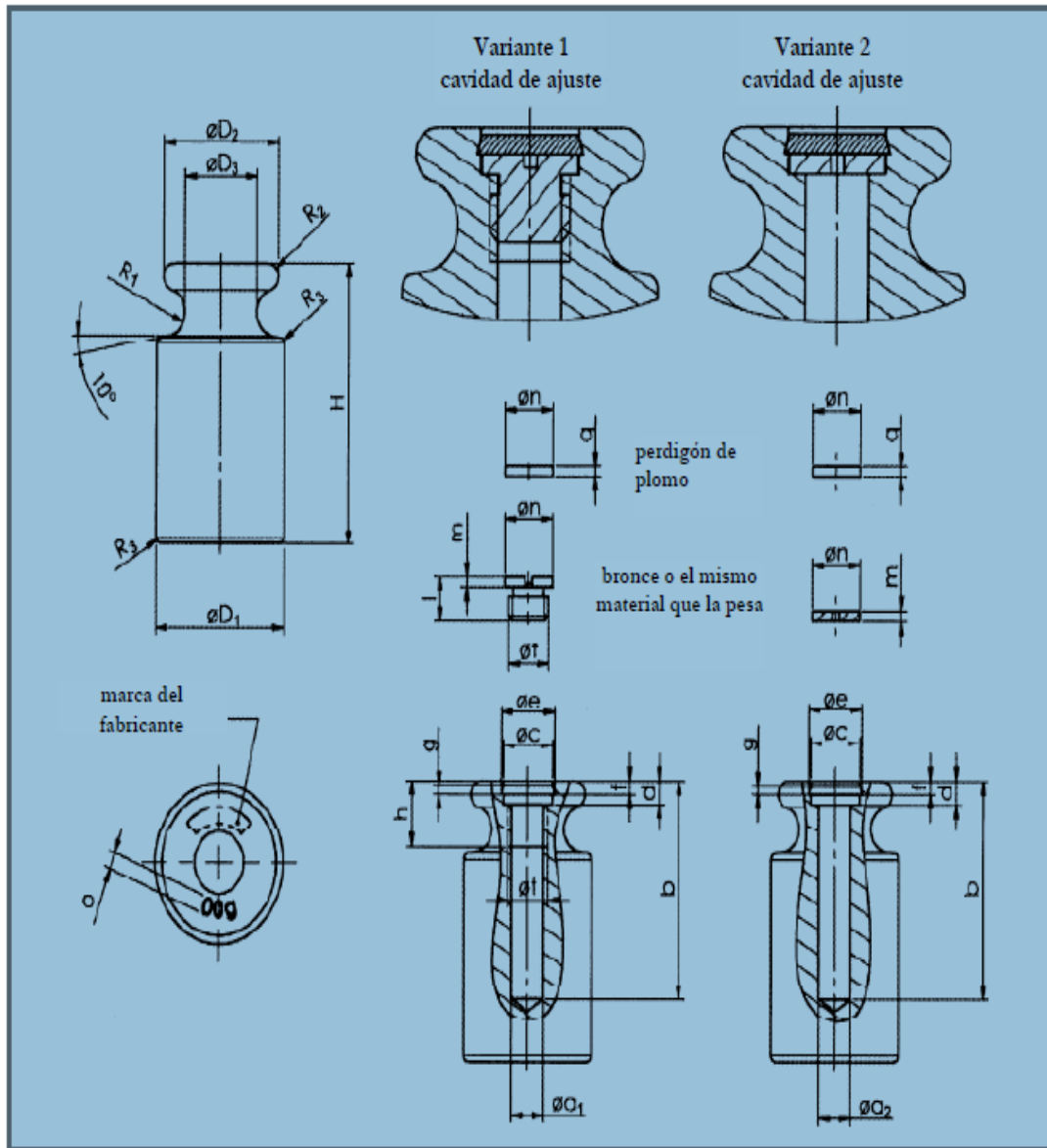
Organización Internacional de Metrología Legal Recomendación OIML R111		Tolerancias de OIML						
		E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5000 kg				25000	80000	250000	800000	2500000
2000 kg				10000	30000	100000	300000	1000000
1000 kg		1600	5000	16000	50000	160000	500000	
500 kg		800	2500	8000	25000	80000	250000	
200 kg		300	1000	3000	10000	30000	100000	
100 kg		160	500	1600	5000	16000	50000	
50 kg	25	80	250	800	2500	8000	25000	
20 kg	10	30	100	300	1000	3000	10000	
10 kg	5	16	50	160	500	1600	5000	
5 kg	2.5	8.0	25	80	250	800	2500	
2 kg	1	3	10	30	100	300	1000	
1 kg	0.5	1.6	5	16	50	160	500	
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25	80	250	
200 g	0.1	0.3	1.0	3	10	30	100	
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0	16	50	
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0	10	30	
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5	8.0	25	
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0	6.0	20	
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0	16	
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2	4.0	12	
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0	10	
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5		
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0		
100 mg	0.005	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6		
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4			
20 mg	0.003	0.010	0.030	0.10	0.30			
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25			
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20			
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20			
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20			

Tolerancias de OIML

Los valores nominales de esta tabla indican desde la pesa más pequeña hasta la más grande para las distintas clases de exactitud según la Norma OIML R111 y los respectivos errores máximos permitidos para cada pesa. Por ejemplo, el valor más pequeño de pesa que se acepta en una clase M2 es de 100 mg, mientras que el mayor es 5000 kg. Una pesa de 50 mg, no puede ser aceptada como una pesa de clase M2 según la OIML R111, pero sí puede ser aceptada dentro de la clase M1 si cumple con los errores máximos permisibles y otros requerimientos de la norma (por ejemplo: forma o marcados permitidos).

Fuente: Organización Internacional de Metrología Legal.

Anexo 4. Ejemplo de estructura de las pesas cilíndricas



Fuente: Norma OIML R111-1. p. 25.

Anexo 5. **Tabla de dimensiones en milímetros (mm)**

Valor nominal	D ₁	D ₂	D ₃	H	R ₁	R ₂	R ₃	o	a ₁	a:	b	c	d	e	f	g	h	l	m	n	q	t		
1 g	6	5,5	3	DEPENDIENDO DEL MATERIAL	0,9	0,5	0,5	1	sin cavidad de ajuste															
2 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1																
5 g	8	7	4,5		1,25	0,7	0,5	1																
10 g	10	9'	6		1,5	0,8	0,5	1																
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5																
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2																
20 g	13	11,5	7,5			1,8	1	0,5		1,5	3,5	3	18	5,5	2,5	6,5	1,5	1	9	5	1	5	1	M4 x 0,5
50 g	18	16	10			2,5	1,5	1		2	5,5	4,5	25	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
100 g	22	20	13			3,5	2	1		2	5,5	4,5	30	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
200 g	28	25	16			4	2,25	1,5		3,2	6,9	7	40	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
500 g	38	34	22		5,5	3	1,5	3,2	6,9	7	50	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1		
1 kg	48	43	27		7	4	2	5	12,4	12	65	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5		
2 kg	60	54	36		9	5	2	5	12,4	12	80	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5		
5 kg	80	72	46		12	6,5	2	10	18,4	18	120	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5		
10 kg	100	90	58		15	8,5	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5		
20 kg	128	112	74		18	11	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5		

① Se da la profundidad de las cavidades de ajuste sólo como indicación.

Fuente: Norma Metrológica Peruana R111-1. p 40.