

## EXPERIMENTO 0

### GUÍA DE INTRODUCCIÓN INTRODUCCIÓN A LA MEDIDA. LA METROLOGÍA COMO CIENCIA DE LA MEDICIÓN.

#### 1. OBJETIVOS

- Estudiar y analizar los aspectos fundamentales de la metrología (ciencia de la medición) usados internacionalmente.
- Identificar y diferenciar los términos más utilizados dentro del lenguaje metrológico.
- Utilizar adecuadamente las reglas internacionales que hablan del manejo gramatical del Sistema Internacional de unidades.
- Diferenciar entre medición directa e indirecta.

#### 2. INTRODUCCIÓN

La metrología es la ciencia de la medición y se puede considerar como una rama de la física. Entra en todos los dominios de la ciencia ya sea en el progreso científico, el desarrollo tecnológico o el bienestar social. Su objetivo principal es garantizar la confiabilidad de las mediciones en cualquier campo de la ciencia y tecnología, para ello la metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones realizadas, la metrología puede dividirse en las siguientes áreas:

- **METROLOGÍA INDUSTRIAL:** Su objetivo es garantizar la confiabilidad de las mediciones que se realizan en la industria, entre ellas la calibración de equipos de medición y prueba, la inspección de materias primas, proceso y producto terminado.
- **METROLOGÍA LEGAL:** Su objetivo es proteger a los consumidores para que reciban los bienes y servicios con las características que ofrecen los diferentes fabricantes y debe ser ejercida por los gobiernos, algunas de las funciones consisten en la verificación de las masas y balanzas que se utilizan en el comercio, verificación de surtidores de combustibles, contadores eléctricos, de agua, de gas, taxímetros, entre otros.
- **METROLOGÍA CIENTÍFICA:** Su objetivo es llevar a cabo investigaciones para mejorar los patrones, las técnicas y métodos de medición, los instrumentos y la exactitud de las medidas. En ella se realizan actividades como mantenimiento de patrones internacionales, mejoramiento de la exactitud de las mediciones necesarias para los desarrollos científicos y tecnológicos, búsqueda de nuevos patrones que representen o materialicen de mejor manera las unidades de medición.

La metrología también puede clasificarse según el tipo de variable que se está midiendo de acuerdo con esto se han establecido áreas como: Masas y balanzas, mediciones longitudinales y geométricas, mediciones eléctricas, temperatura, volúmenes, etc.

## 2.1 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES SI

El Sistema Internacional de Unidades SI es un código, aceptado a nivel mundial para intercambio de información relacionado con las operaciones de medición; compuesto por un conjunto práctico y coherente de unidades de medida, aprobado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1960, este sistema se basa en el sistema métrico decimal.

Todos los problemas relacionados con las unidades de las magnitudes físicas se definen a nivel internacional en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) la cual se reúne cada 4 años y está conformada por delegados de todos los estados miembros. Las máximas autoridades mundiales son el “Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM)”, la “Organización Internacional de Normalización” y la “Organización Internacional de Metrología Legal”, todos estos comités y organizaciones hacen parte de la estructura de la convención del metro creado en 1875.

La aceptación del Sistema Internacional de Unidades se debe al trabajo arduo de científicos, que después de muchos intentos despejaron el camino para una mejor difusión de la ciencia y de los adelantos tecnológicos, gracias a la adopción de convenciones alrededor de los sistemas de medición.

En Colombia el SI se encuentra descrito en la norma técnica colombiana NTC 1000: Metrología, Sistema Internacional de Unidades. Esta es una norma oficial obligatoria.

**Unidades básicas:** El Sistema Internacional se fundamenta en las siguientes siete unidades básicas:

Magnitud	Unidad básica	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

**Tabla 1. Unidades fundamentales.**

Cada una de estas unidades tiene hoy una definición científica con el propósito de que sea totalmente invariante en el tiempo y el espacio, a manera de ilustración se presenta la definición de metro (m): “Es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz, durante un intervalo de tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo”.

**Unidades derivadas:** Las unidades derivadas se expresan algebraicamente en términos de unidades básicas. Algunas unidades derivadas poseen nombres y símbolos especiales:

Magnitud Física	Nombre de la unidad	Símbolo	Definición en unidades del SI
frecuencia ( $f=1/T$ )	hertz	Hz	$s^{-1}$
fuerza ( $F=ma$ )	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
presión ( $p=F/A$ )	pascal	Pa	$N/m^2 = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energía (E), trabajo ( $W=FL$ ) cantidad de calor (Q)	joule	J	$N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
área ( $S=l^2$ )	metro cuadrado	$m^2$	$m^2$
volumen ( $V=l^3$ )	metro cúbico	$m^3$	$m^3$
densidad ( $\rho=m/V$ )	kilogramo sobre metro cúbico	$kg/m^3$	$kg/m^3$
velocidad ( $v=dl/dt$ )	metro sobre segundo	m/s	m/s
aceleración ( $a=d^2l/dt^2$ )	metro sobre segundo al cuadrado	$m/s^2$	$m/s^2$
velocidad angular ( $\omega=2\pi/T=d\phi/dt$ )	radian sobre segundo	rad/s	rad/s
aceleración angular ( $\alpha=d\omega/dt=d^2\phi/dt^2$ )	radian sobre segundo al cuadrado	$rad/s^2$	$rad/s^2$

**Tabla 2. Ejemplos de unidades derivadas.**

## 2.2 GRAMÁTICA DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

Con el fin de evitar confusiones y facilitar la comunicación del SI, este tiene sus propias reglas para la escritura y uso de los símbolos y unidades algunas de ellas se describen en la siguiente tabla.

Regla No.	Descripción	Forma Correcta	Forma Incorrecta
1	Todos los símbolos de las unidades SI se escriben con letras minúsculas del alfabeto latino, con la excepción del ohm ( $\Omega$ ), y aquellos que provienen del nombre de científicos, se escriben con mayúscula.	kg kilogramo A ampere	<i>Kg</i> <i>amp</i>
2	Los símbolos de las unidades se escriben sin punto final y no deben pluralizarse para no utilizar la letra "s" la cual representa el segundo.	50 cm 50 kg	50 cm. 50 kgs
3	En la expresión de una magnitud, los símbolos de las unidades se escriben después del valor numérico completo, dejando un espacio entre el valor numérico y el símbolo.	253 m 5 °C	253m 5°C
4	Cuando se escribe el producto de los símbolos éste se expresa nombrando simplemente a estos símbolos.	ms se dice metro segundo	metro por segundo
5	Las unidades no se deben representar por sus símbolos cuando se escribe en letras su valor numérico. Igualmente al referirse a una unidad, se recomienda escribir el nombre completo, salvo casos en los cuales no exista riesgo de confusión al escribir únicamente el símbolo.	cincuenta metros	cincuenta m
6	Los nombres completos de las unidades y los símbolos no deben usarse combinados en una sola expresión.	m/s	metro/s
7	Cuando se deba escribir o pronunciar el plural del nombre de una unidad SI, se usaran las reglas de la Gramática Española	10 néwtones 50 gramos	10 N's 50 gramo
8	Debe evitarse el uso de unidades de diferentes sistemas.	kilogramo metro cúbico	kilogramo por galón
9	Se debe utilizar el sistema de 24 horas con dos dígitos para la hora, dos dígitos para los minutos y dos dígitos para los segundos. En los intermedios se indica el símbolo de la unidad.	20 h 00 09 h 30 min 12 h 40 min	8 PM 9:30 hrs 12 h 40'

**Tabla 3. Algunas reglas para la escritura y uso de los símbolos y unidades.**

### 2.3 CONCEPTOS MÁS USADOS

En la metrología como en cualquier otra ciencia, es tan importante obtener un buen resultado como expresarlo correctamente. Por esta razón es necesario conocer claramente el significado de los conceptos básicos que son empleados.

Los términos metrológicos y sus significados usados en este material, están basados en el "Vocabulario Internacional de Metrología – VIM" versión 2008; se puede encontrar una versión en español de esta norma en:

[http://www.sim-metrologia.org.br/docs/span\\_VIM.pdf](http://www.sim-metrologia.org.br/docs/span_VIM.pdf)

A continuación se expondrá el significado de los principales conceptos usados en actividades metrológicas con base en el VIM.

**Magnitud medible:** Atributo a un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente mediante un número y una referencia.

- a. Magnitudes en sentido general: longitud, tiempo, masa, temperatura etc.
- b. Magnitudes particulares: longitud de una varilla dada, resistencia eléctrica de un espécimen determinado de alambre.

**Unidad de medida:** Magnitud en particular definida y adoptada por convención, con la cual se comparan las otras magnitudes de la misma naturaleza, para expresar cuantitativamente su relación con esta magnitud.

- a. La unidad de medida tiene asignados de forma convencional nombres y símbolos. Ejemplo; metro (m).

**Símbolo de una unidad de medida:** Símbolo designado en forma convencional para una unidad de medida (por ejemplo m es el símbolo para metro y A es el símbolo para Ampere).

**Valor de una magnitud:** Cantidad de una magnitud en particular que se expresa como una unidad de medida multiplicada por un número (por ejemplo la longitud de una varilla 5,34 m o 534 cm) el valor de una magnitud puede ser expresado en más de una forma.

**Valor verdadero de una magnitud:** Valor consistente con la definición de una determinada magnitud particular, este es un valor que se obtendría por una medición perfecta por lo cual los valores verdaderos son indeterminados.

**Valor convencionalmente verdadero:** Valor atribuido a una magnitud particular y aceptado, algunas veces por convención, como un valor que tiene una incertidumbre apropiada para un propósito determinado, con frecuencia se utiliza un gran número de resultados de mediciones para establecer un valor convencionalmente verdadero (por ejemplo el valor recomendado por CODATA en 1986 para la constante de Avogadro  $N_A: 6,0221367 \times 10^{23} mol^{-1}$  ).

**Valor numérico de una magnitud:** Número que multiplica a la unidad de medida en la expresión del valor de una magnitud.

**Medición:** Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud, las operaciones pueden ser realizadas automáticamente.

**Medida directa:** Una medida es directa cuando se obtiene observando directamente en un instrumento diseñado para medir magnitudes de la misma naturaleza (por ejemplo, cuando se mide tensión eléctrica por medio de un multímetro digital).

**Medida indirecta:** Las medidas indirectas son aquellas que son resultado de emplear una expresión matemática que implica operaciones con cantidades físicas que fueron medidas directamente (por ejemplo cuando se mide el área de un rectángulo con base en la medida directa de la longitud de su base, multiplicada por la medida directa de la altura del mismo).

**Mensurando:** Magnitud que se desea medir.

**Instrumento de medida:** Dispositivo para realizar mediciones solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

**Escala de un instrumento:** Parte de un instrumento visualizador, que consiste en un conjunto ordenado de marcas, eventualmente acompañados de números o valores de la magnitud.

**Clase de exactitud:** Clase de instrumentos o sistemas de medida que satisfacen requisitos metrológicos determinados, destinados a mantener los errores de medida o las incertidumbres instrumentales dentro de los límites especificados, bajo condiciones de funcionamiento dadas. Una clase de exactitud habitualmente se indica mediante un número o un símbolo adoptado por convenio. Por ejemplo la clase de exactitud puede corresponder al error máximo tolerado, expresado en tanto por ciento del intervalo de medición.

**Tolerancia:** Dada una magnitud significativa y cuantificable el margen de tolerancia es el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida. El propósito de los intervalos de tolerancia es el de admitir un margen para las imperfecciones, ya que se considera imposible la exactitud absoluta desde el punto de vista técnico. En ingeniería es usual especificar el mayor valor posible de tolerancia mientras el componente en cuestión mantenga su funcionalidad.

La tolerancia puede ser especificada por un rango explícito de valores permitidos, una máxima desviación de un valor nominal, o por un factor o porcentaje de un valor nominal. Por ejemplo, si la longitud aceptable de una barra de acero está en el intervalo  $1,00 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ , la tolerancia es de  $0,01 \text{ m}$  (longitud absoluta) o  $1\%$  (porcentaje).

**Valor medio:** El mejor valor que se puede ofrecer para la magnitud medida es la media, o valor medio que representa el promedio aritmético de un conjunto de observaciones de acuerdo con la expresión.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

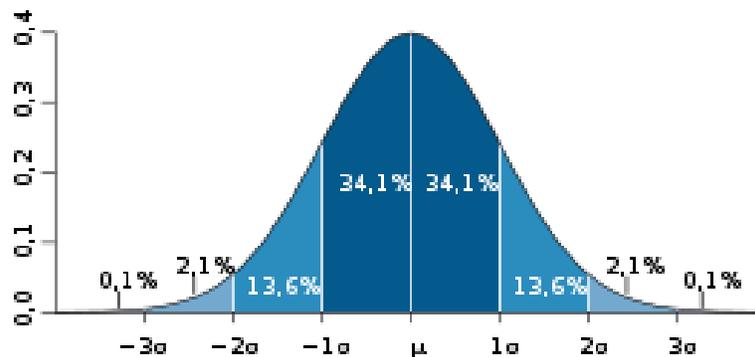
Donde  $x_i$  = medida individual y “n” el número de medidas de la magnitud.

Para calcular el valor medio de una serie de medidas básicamente se suman los valores y el resultado se divide entre el número de observaciones.

**Desviación estándar experimental:** Para una serie de  $n$  mediciones de la misma magnitud por medir, es la cantidad  $\sigma$  que caracteriza a la dispersión de los resultados, y que está dada por la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Siendo  $x_i$  resultado de la medición enésima y siendo  $\bar{x}$  la media aritmética de los  $n$  resultados considerados (ecuación 1). La desviación estándar nos permite determinar, dónde están localizados los valores de una distribución de frecuencias con relación a la media, es decir que es la variación esperada con respecto a la media.



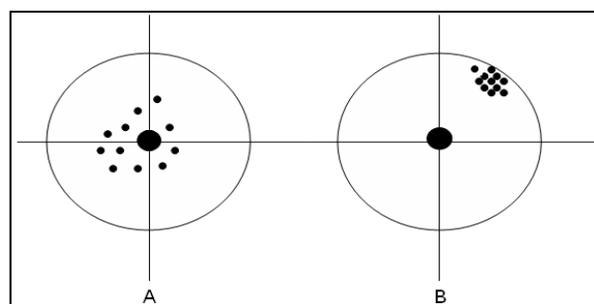
**Figura 1. Desviaciones estándar en una distribución normal.**

**Trazabilidad:** Propiedad de una medida realizada, por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. La trazabilidad puede ser considerada “el pedigree de la medición”, ya que es una propiedad de la medición que permite que el resultado de esta sea relacionado con otros patrones nacionales e internacionales, mediante una cadena ininterrumpida. La cadena de trazabilidad debe comenzar con la medición realizada, mediante un instrumento particular, y finalizar en un patrón

internacional, se conoce como cadena de trazabilidad a la cadena ininterrumpida de comparaciones. En otras palabras la trazabilidad es un proceso donde la indicación de un equipo de medición puede ser comparada, en una o más etapas con el patrón para la medición en cuestión.

**Exactitud:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero del mensurando. La exactitud es un término cualitativo que se emplea para determinar qué tan cercano se encuentra un valor a otro valor considerado como referencia. Este término requiere de la existencia de una comparación entre un valor medido y un valor de un mensurando; por lo tanto es necesario decir al emplear este término: A es más exacto que B. La exactitud no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

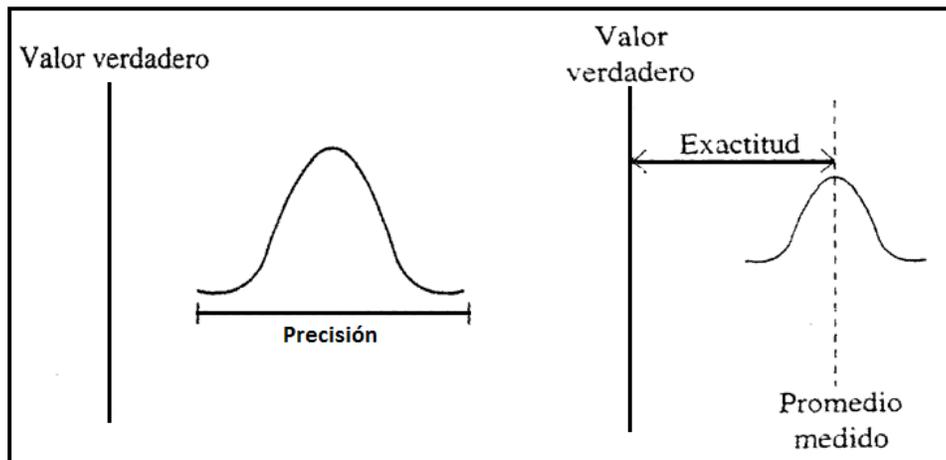
**Precisión de medida:** Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas. Con frecuencia "precisión de medida" se utiliza erróneamente en lugar de "exactitud de medida". Puede ser expresada cuantitativamente mediante una desviación estándar experimental u otra medida de tendencia. Las "condiciones especificadas" pueden ser condiciones de repetibilidad o condiciones de reproducibilidad. La precisión de medida se utiliza para definir la repetibilidad de medida y la reproducibilidad. Para clarificar los conceptos de exactitud y precisión de medida, se presenta el siguiente ejemplo: Dos tiradores diferentes A y B disparan una serie de dardos a un blanco; el número de disparos por persona es igual; en la siguiente figura se muestran las marcas realizadas por ambos tiradores.



**Figura 2. Ilustración grafica de exactitud y precisión.**

De la observación de la figura se deduce que las marcas de B están más cercanas entre sí que las de A, es decir que los disparos de B son más "precisos" que los de A o, dicho en otras palabras, B es más "constante" que A. Sin embargo las marcas de A se encuentran más cerca del centro que las de B, es decir los disparos de A

son más "exactos" que los disparos de B. Este ejemplo puede trasladarse al campo de las mediciones. Para hablar de "precisión de medida" es necesario que las condiciones bajo las cuales se realiza la medición, o el disparo de las personas del ejemplo anterior, no cambien. En la figura 3 se puede apreciar de manera más estadística la diferencia entre exactitud y precisión.



**Figura 3. Ilustración gráfica de exactitud y precisión.**

**Condiciones de repetibilidad de una medición:** Condición de medición dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo

**Repetibilidad de medida:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad.

**Condiciones de reproducibilidad de una medición:** Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

**Reproducibilidad de medida:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad.

**Calibración:** La calibración es un proceso de comparación que se realiza entre los valores indicados por un instrumento de medición y los valores materializados por un patrón. El objeto de una calibración es determinar por especialistas si el instrumento bajo prueba cumple o no con las especificaciones dadas por el fabricante como la tolerancia, clase de exactitud entre otras. Una vez finalizado un

proceso de calibración es posible encontrar que un instrumento no cumple con sus especificaciones, siendo entonces necesaria la realización de un proceso de ajuste o reparación.

**Ajuste:** El ajuste es un proceso por medio del cual se ubica un instrumento en un estado de funcionamiento adecuado para su uso. Existen algunos ajustes que pueden ser realizados por el usuario de una manera rutinaria, un ejemplo de esto es el ajuste del cero de algunos instrumentos de medición analógicos.

**Resolución de un instrumento de medida:** Es La diferencia más pequeña en unidades entre las indicaciones del dispositivo indicador en el instrumento de medida que puede ser distinguida significativamente.



Regla: instrumento análogo  
Resolución: 1 mm ó 0,001 m

Cronometro: instrumento Digital  
Resolución: 10 ms ó 0,01 s

**Error:** El error de medición es la diferencia existente entre el resultado de la medición indicado por el instrumento  $A_i$  y el valor convencionalmente verdadero  $A_r$  de la magnitud medida. Como el valor verdadero de la magnitud solo puede ser estimado, el error entonces también es sólo un estimado.

$$E = A_i - A_r \quad (3)$$

Dónde:

$A_i$  : es el valor medido

$A_r$  : es el valor convencionalmente verdadero

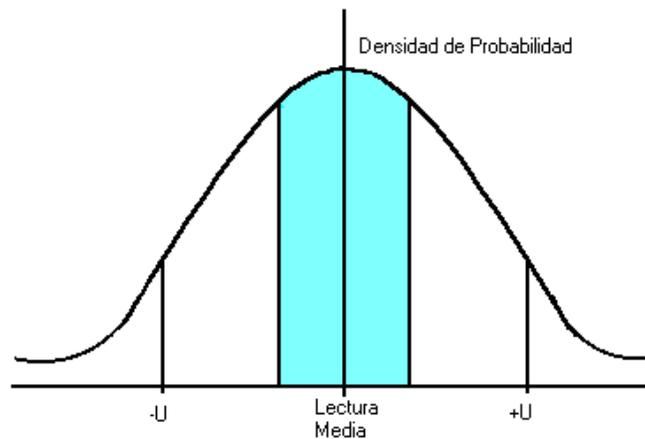
Cuando sea necesario distinguir entre “error” y “error relativo”, el error a veces se denomina **error absoluto de medición** y no debe confundirse con el valor absoluto del error.

**Error relativo:** Es la relación entre el error absoluto (E), y el valor máximo de la escala ( $A_{max}$ ). Por lo general este error se expresa en porcentaje.

$$Er = \frac{(A_i - A_r) \times 100\%}{A_{max}} \quad (4)$$

La fórmula anterior se utiliza para calcular el error relativo en el caso más general, es decir cuando la escala del instrumento de medida es uniforme.

**Incertidumbre:** La palabra "incertidumbre" significa duda, y por lo tanto, en un sentido más amplio "incertidumbre de medición" significa duda en la validez del resultado de una medición. La incertidumbre es el parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podría atribuir a la magnitud por medir. La incertidumbre es un parámetro que indica la probabilidad de que el resultado de una medición esté efectivamente dentro de ciertos límites alrededor de un valor medio (ver figura 1.4)



**Figura4. Representación gráfica de la incertidumbre de medición  $\pm U$ .**

### 3. TALLER

1. Complete: La metrología es la \_\_\_\_\_ de la medición; uno de sus objetivos principales es garantizar la \_\_\_\_\_ de las mediciones.
2. La metrología puede dividirse en las siguientes Clases:
  - 2.1. \_\_\_\_\_
  - 2.2. \_\_\_\_\_
  - 2.3. \_\_\_\_\_
3. Complete: La metrología \_\_\_\_\_ se aplica en:
  - La calibración de los equipos de medición y prueba.
  - La inspección de materias primas, proceso y producto terminado.
4. Complete: La metrología \_\_\_\_\_ tiene como objetivo proteger a los consumidores para que reciban los bienes y servicios con las características que ofrecen o anuncian los diferentes fabricantes.

5. El Sistema Internacional se fundamenta en las siguientes unidades básicas:

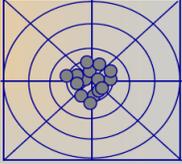
Magnitud	Unidad básica	Símbolo
Longitud		
Masa		
Tiempo		
Corriente eléctrica		
Temperatura termodinámica		
Cantidad de sustancia		
Intensidad luminosa		

6. Determine si es Falso o Verdadero que:

- 6.1. La Calibración es un proceso por medio del cual se ubica un instrumento en un estado de funcionamiento adecuado para su uso ( ).
- 6.2. La palabra "Error" significa duda, y por lo tanto, en un sentido más amplio "error de medición" significa duda en la validez del resultado de una medición. El Error del resultado de una medición refleja la falta de conocimiento exacto del valor del mensurando ( ).

7. Consigne el número de la definición en el cuadro que corresponda.

TERMINOS GENERALES DE METROLOGÍA	
1. Repetibilidad	Diferencia existente entre el resultado de la medición y el valor convencionalmente verdadero de la magnitud de medida.
2. Reproducibilidad	La diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.
3. Trazabilidad	Proceso de comparación que se realiza entre los valores indicados por el instrumento de medición y los valores materializados por un patrón.
4. Incertidumbre	Aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí, obtenida cuando el equipo o instrumento se utiliza por un operador varias veces midiendo la misma pieza.
5. Error	Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos a la magnitud por medir.
6. Resolución	Variación obtenida cuando el equipo o instrumento se utiliza varias veces, por diferentes operadores, midiendo la misma pieza.

7. Calibración	Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas.
8. No-Repetible y No-Exacto.	
9. Repetible y Exacto.	
10. Exacto y No - Repetible	
11. Repetible y No-Exacto	

8. Coloque el nombre correcto de la unidad en caso de que sea necesario

UNIDAD	CORRECTO
kelvin	
metro	
kilogramo	
ampere	
Kelvin	
Metro	
Kilogramo	
Ampere	
niutonio	
julio	
amperio	

#### 4. CONCLUSIONES

- En sus propias palabras explique los diferentes tipos de Metrología dentro de cada uno de sus contextos.
- ¿Por qué considera usted que la Metrología es importante en el mundo actual como ciencia de la medida?
- ¿Cuál es la diferencia entre una medición directa y una medición indirecta?
- ¿Cuál cree usted que sea la diferencia entre error e incertidumbre?
- En los tratados de libre comercio ¿en qué cree usted que tiene importancia la Metrología?
- ¿En qué radica la importancia de utilizar el lenguaje y escritura del “SI” acordes con la normas internacionales?
- ¿Cree usted que la metrología es solo importante en las zonas industriales o también en el ámbito de la ciencia?