



Componente formativo

Cálculo y métodos de medición de magnitudes eléctricas y su aplicación

Breve descripción:

En este componente formativo se tratan conceptos relacionados con la generación de prototipos, parámetros de fabricación, clasificación de materiales y los procesos asociados a la fabricación mecánica y las técnicas de prototipado.

Área ocupacional:

Procesamiento, fabricación y ensamble

Junio 2023

Tabla de contenido

Introducción.....	4
1. Cálculo de magnitudes eléctricas	5
1.1. Métodos de medición.....	9
1.2. Simulación de medidas.....	10
1.3. Interpretar mediciones de magnitudes eléctricas.....	19
2. Especificaciones técnicas de productos electrónicos.....	20
2.1. Requerimientos de calidad	23
2.2. Tolerancias del producto.....	24
2.3. Verificación de atributos.....	26
3. Normas técnicas	27
3.1. Normas de calidad	31
3.2. Normativa aplicable al producto.....	32
3.3. Normativa aplicable al proceso	33
4. Mejora continua	35
4.1. Metodología	37
4.2. Manejo de indicadores.....	38
4.3. Acciones de mejora	40
Síntesis	43
Material complementario	45
Glosario.....	46
Referencias bibliográficas	47

Créditos.....	47
---------------	----

Introducción

Preparar métodos de medición de acuerdo con requerimientos técnicos es uno de los procesos fundamentales para controlar la calidad en cada una de las fases y así, obtener al final del día productos de óptimo funcionamiento que cubran necesidades específicas. En el siguiente video se exponen los aspectos que se deben tener en cuenta en el proceso de medición.

Video 1. Cálculo y métodos de medición de magnitudes eléctricas y su aplicación.



[Enlace de reproducción del video](#)

Síntesis del video: Video 1. Cálculo y métodos de medición de magnitudes eléctricas y su aplicación.

Uno de los pasos más importantes cuando se está desarrollando un producto electrónico es el proceso de medición, ya que de él depende en gran medida, el funcionamiento óptimo del producto final.

Las normas aplicables a los procesos de medición, de igual forma, deben estar presentes, ya que buscan proteger la vida, preservar el medio ambiente y generar las condiciones necesarias para el funcionamiento de los productos electrónicos. Es importante consultarlas para el desarrollo de los procesos de medición.







El control de calidad es un paso importante para la obtención de un producto final que cumpla con lo requerido de acuerdo con la función para la que fue creado. El proceso de medición e interpretación de la medida, entonces, es un paso fundamental para que esta verificación sea exitosa.

1. Cálculo de magnitudes eléctricas

Una magnitud eléctrica se refiere a aquellos procesos físicos asociados al movimiento de electrones y que pueden ser medidos. Dentro de ellas se encuentra la diferencia de potencial, la intensidad de corriente, la resistencia, la capacitancia, la inductancia y la frecuencia eléctrica.

La siguiente figura muestra cada una de ellas, así como las unidades empleadas para medirlas y los instrumentos más comunes.

Figura 1. Magnitudes eléctricas.

Magnitud física	Unidad de medida	Abreviatura	Símbolo esquemático	Instrumento de medición	Elemento asociado
Diferencia de potencial eléctrico	Voltio	V		Voltímetro	Batería, fuente de poder
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio	A		Amperímetro	Fuente de corriente
Resistencia eléctrica	Óhmio	Ω		Ohmímetro	Resistor, potenciómetro
Capacitancia eléctrica	Faradio	F		Capacímetro	Condensador, filtro
Inductancia eléctrica	Henrio	H		Inductómetro	Bobina, transformador
Frecuencia eléctrica	Hertz	Hz		Frecuencímetro osciloscopio	Generador de señal

Magnitud física	Unidad de medida	Abreviatura	Símbolo esquemático	Instrumento de medición	Elemento asociado
Diferencia de potencial eléctrico	Voltio	V		Voltímetro	Batería, fuente de poder
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio	A		Amperímetro	Fuente de corriente
Resistencia eléctrica	Ohmio	Ω		Ohmímetro	Resistor, Potenciómetro
Capacitancia eléctrica	Faradio	F		Capacímetro	Condensador, Filtro
Inductancia eléctrica	Henrio	H		Inductómetro	Bobina, Transformador
Frecuencia eléctrica	Hertz	Hz		Frecuencímetro osciloscopio	Generador de Señal

El cálculo de estas magnitudes normalmente requiere de la aplicación de principios, leyes y teoremas.

En algunos casos deben estar involucradas más de una vez para poder medirlas y calcularlas; este es el caso de la intensidad de corriente eléctrica, que para poder obtener un valor medido debe estar conectada una diferencia de potencial a una resistencia eléctrica. Lo mismo pasa con la frecuencia eléctrica, que es el cambio en el tiempo del valor de una tensión o corriente eléctrica.

Es importante tener en cuenta los instrumentos de medición utilizados en cada caso, algunos instrumentos pueden sufrir averías si no se utilizan de forma adecuada, por ejemplo, si se tiene un multímetro, seleccionado como ohmímetro y por accidente medimos tensión,

es probable que el instrumento sufra algún daño, esa es una desventaja de incluir múltiples instrumentos (multímetro) en un solo equipo.



Ahora bien, para proceder al cálculo de magnitudes eléctricas es importante contar con bases matemáticas. Se necesitan conocimientos relacionados con el despeje de variables, operaciones matemáticas con fracciones, factorización, ecuaciones de hasta tres incógnitas y números complejos. Aunque en esta parte solo se aplican estos procedimientos matemáticos para obtener unos resultados, lo más importante es saber interpretarlos. Existen aplicaciones o sitios web que se pueden usar para realizar estos cálculos de forma inmediata.

En este punto y antes de continuar, se debe reflexionar sobre estos procesos, ver figura.

Figura 2. Reflexión sobre la medición.



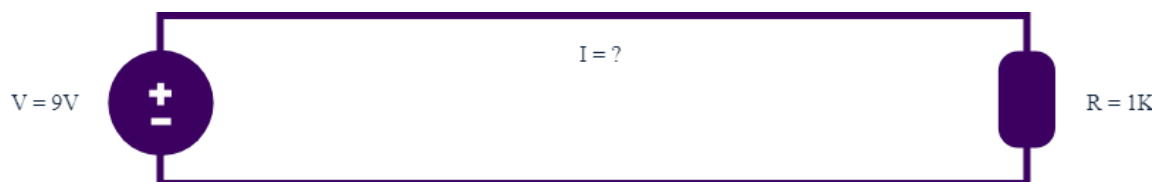
- ¿Qué es medir?
- ¿Qué es calcular?
- ¿Se puede hacer una medición sin necesidad de hacer un cálculo?
- ¿Se puede hacer un cálculo sin necesidad de hacer una medición?
- ¿O será que siempre deben ir las dos amarradas?

La respuesta a estos interrogantes puede ser simple. Depende de las condiciones y de lo que se esté buscando, algunas veces será necesario aplicar las dos (medir y calcular), pero lo que sí se debe tener en cuenta, es que el proceso de medición es muy importante y se debe tener claridad sobre él. Se puede efectuar un cálculo y saber lo que se espera al medir; al hacerlo se está corroborando el procedimiento matemático asociado al fenómeno físico.

También, se puede medir sin efectuar el cálculo y obtendremos un valor directo del fenómeno físico, pero esto podría generar una incertidumbre al no tener certeza de esos resultados obtenidos.

De acuerdo con la explicación anterior, se presenta el siguiente ejemplo de cálculo para la Ley de Ohm, ver figura.

Figura 3. Planteamiento físico para la Ley de Ohm.



$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow \frac{9}{1000} = 0.009 A$$

La exactitud del cálculo dependerá de la calibración del instrumento, por eso en muchas ocasiones se toma una misma medida varias veces y se tabula para estar más cerca al valor real y así reducir el error o la incertidumbre.

Mientras que la medición indirecta se realiza por medio de relaciones entre variables que permiten crear una ecuación que representa lo que se desea medir tales como:

- a. Velocidad que es igual a espacio sobre tiempo.
- b. Densidad que es igual a masa sobre volumen.

Quiere decir que en esta medición intervienen varias constantes para obtener el valor deseado.

Nótese que en los dos métodos definidos hay algo en común, “comparar”, precisamente porque eso es lo que se hace cuando se mide, se compara. Entonces, lo que hace un ente internacional es establecer una unidad y definir un patrón que sirve de guía para compararlos con él.

Estos patrones se definen utilizando la mayor tecnología posible y los valores se obtienen de procesos donde no dependen de la intervención humana, lo que minimiza el error.

Por ejemplo, el primer patrón para la masa, cuya unidad en el sistema internacional es el gramo, fue el agua destilada a una temperatura de 4° centígrados, medido al nivel del mar. Este patrón no es preciso porque se necesita determinar la temperatura del agua y ahí hay una intervención humana. Por ello, este patrón ha sufrido varias modificaciones.

Afortunadamente para las magnitudes eléctricas, todas las unidades están bien definidas y también los instrumentos de medición, por lo que todas las mediciones efectuadas son de manera directa, aquí solo se deben calcular e interpretar.

1.2. Simulación de medidas

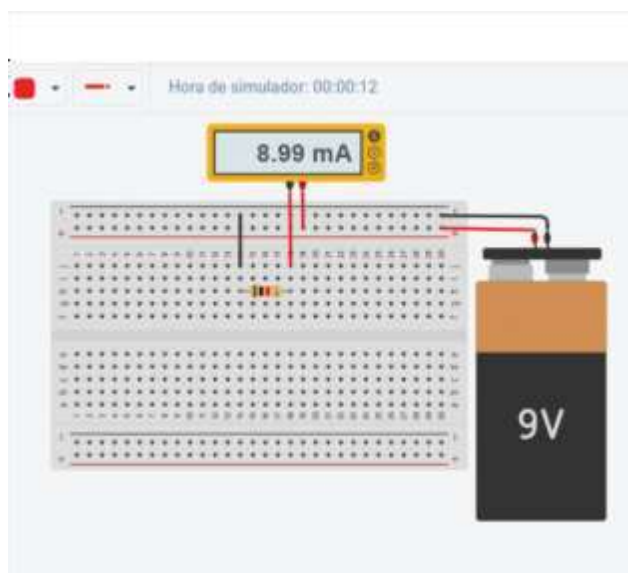
La simulación ayuda mucho en el proceso de cálculo de magnitudes eléctricas, de ahí su gran uso y existencia de aplicaciones de computador creadas para este fin. La simulación

de medidas es un tipo de medición indirecta porque no involucra el fenómeno físico de manera real.

Tinkercad es un *Software* en línea, desarrollado por AutoCAD, de uso libre, que sirve para simular las principales magnitudes eléctricas. También existen aplicaciones pagadas que proporcionan datos muy cercanos a la realidad.

Estos *softwares* permiten tener una aproximación muy buena de lo que será el comportamiento de las variables involucradas una vez se haga el montaje real. Haciendo la simulación de la Ley de Ohm, quedaría el siguiente montaje, ver figura.

Figura 4. Simulando Ley de Ohm.



Si se analiza, el cálculo arrojó un valor de 9 mA y el valor medido en la simulación es de 8.99 mA, muy cercano al valor calculado, al hacer la medición real también debe dar un valor aproximado, esto ayuda mucho a la hora de hacer cálculos de estas magnitudes.

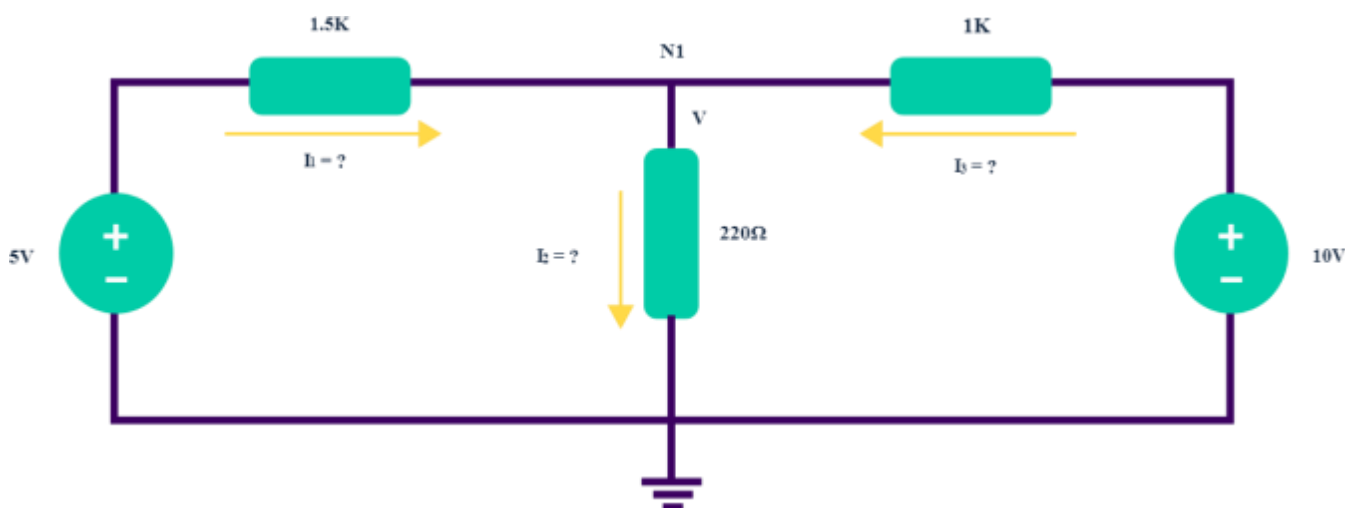
La simulación permite algo que muchas veces es difícil en la realidad y es el uso de varios instrumentos de medición al mismo tiempo, casi siempre se cuenta con uno o dos multímetros. En la simulación este número es elevado.

Por ejemplo, si se requiere hacer el análisis para un circuito con varias fuentes de poder y varias resistencias en un montaje real, tocaría medir cada elemento por separado,

en una simulación se podría utilizar un instrumento para cada elemento y ver todos los valores al mismo tiempo.

Analizando el circuito que aparece en la siguiente figura:

Figura 5. Simulando Ley de Ohm.

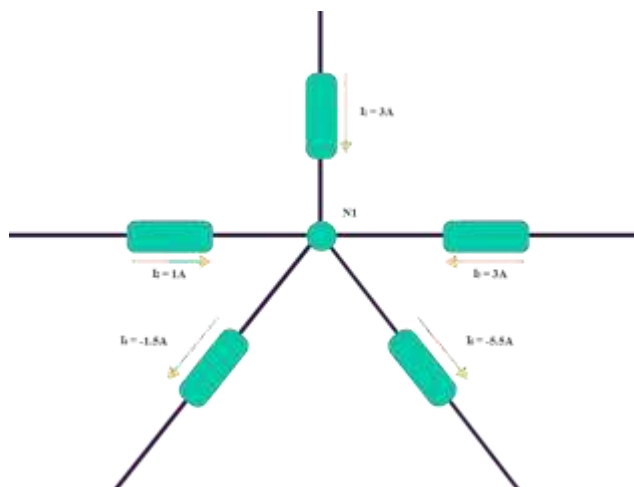


Aquí la Ley de Ohm por sí sola no sería suficiente; basado en esta Gustav Robert Kirchhoff (1846) estableció unas leyes que permiten el análisis de estos circuitos más complejos, la Ley de los nodos.

Ley de los nodos: “en cualquier nodo, la suma de las corrientes que entran en ese nodo es igual a la suma de las corrientes que salen. De forma equivalente, la suma algebraica de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero” (Fluitronic, s.f.).

A continuación, se aprecia lo expuesto.

Figura 6. Corrientes en un mismo nodo.



Ahora bien, si se aplica lo que Kirchhoff establece, quiere decir que:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

Las corrientes que entran al nodo se deben escribir con signo positivo y las que salen con número negativo, es decir, que las tres primeras son positivas y las dos últimas son negativas.

Entonces, se debe escribir la ecuación de la siguiente manera:

$$1 + 3 + 3 - 1.5 - 5.5 = 0$$

Si se aplica esta ley al nodo N1 de la figura 6 se obtiene una ecuación que permite realizar estos cálculos, se aprecia que I_1 e I_3 entran, mientras que I_2 sale. Mediante un análisis matemático se obtiene lo siguiente:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Por Ley de Ohm la corriente I_1 está dada por:

$$I_1 = \frac{V-5}{1500}$$

De la misma manera para I_2

$$I_2 = \frac{V5}{1500}$$

220

Y también para I_3

$$I_3 = \frac{V-10}{1000}$$

Al realizar la suma de todas estas corrientes quedará el siguiente planteamiento:

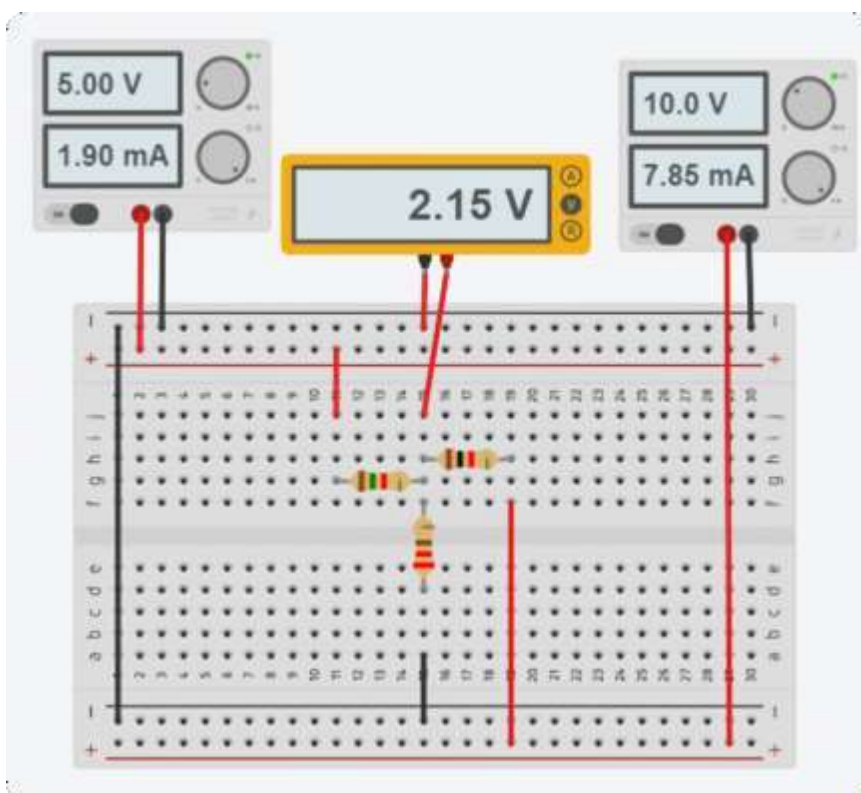
$$\frac{V-5}{1500} + \frac{V-5}{220} + \frac{V-10}{1000} = 0$$

Aplicando un despeje matemático para V se obtiene:

$$V = 2,15V$$

Entonces, si se realiza la simulación para el ejercicio anterior quedaría así:

Figura 7. Simulación para la Ley de nodos.



También es posible verificar los valores de las corrientes, marcados por las fuentes de poder de la simulación utilizando la Ley de Nodos. Para ello, se reemplaza el valor V obtenido en cada ecuación correspondiente a cada nodo, por ejemplo, para:

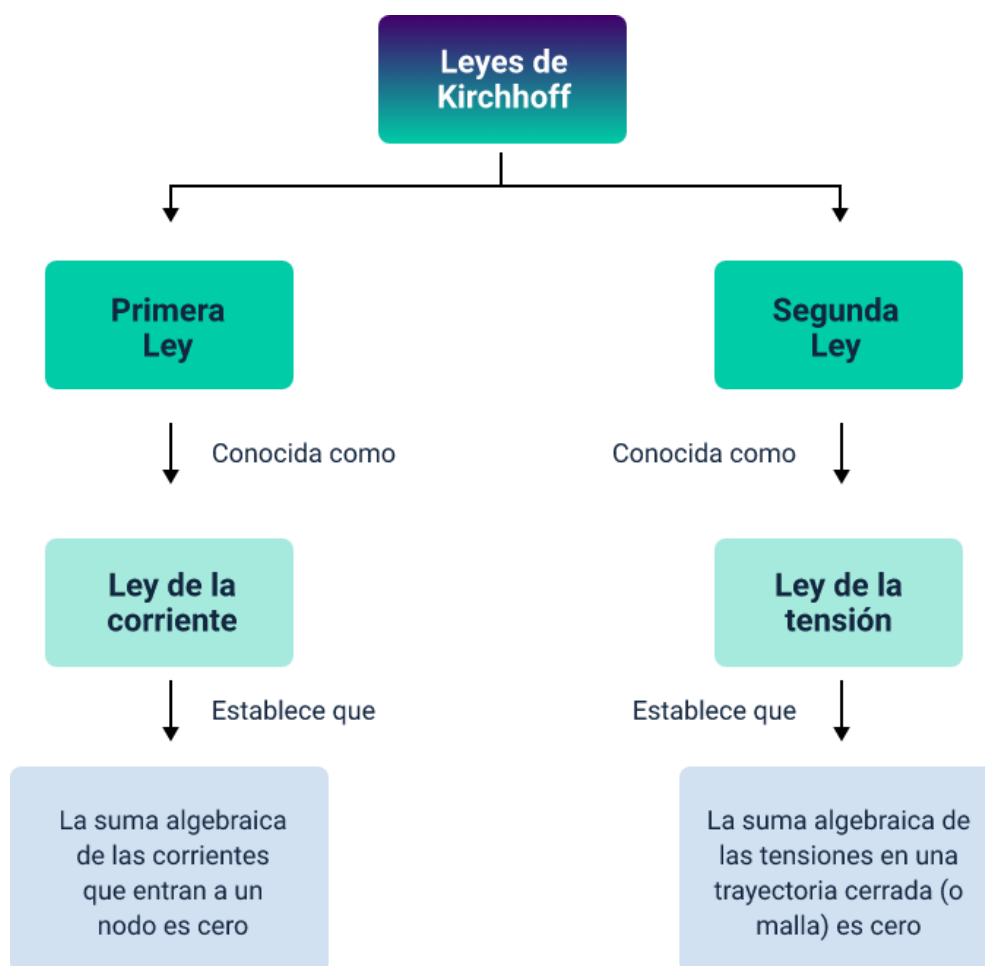
$$I_1 = \frac{V-5}{1500} = \frac{2.15-5}{1500} = -1.9\text{mA}$$

$$I_3 = \frac{V-10}{1000} = \frac{2.15-10}{1000} = -7.85\text{mA}$$

El signo negativo indica que la corriente circula al contrario del sentido planteado.

Las Leyes de Kirchhoff

Figura 8. Leyes de Kirchhoff.



Leyes de Kirchhoff

a. Primera Ley

Conocida como ley de la corriente establece que la suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo es cero.

b. Segunda Ley

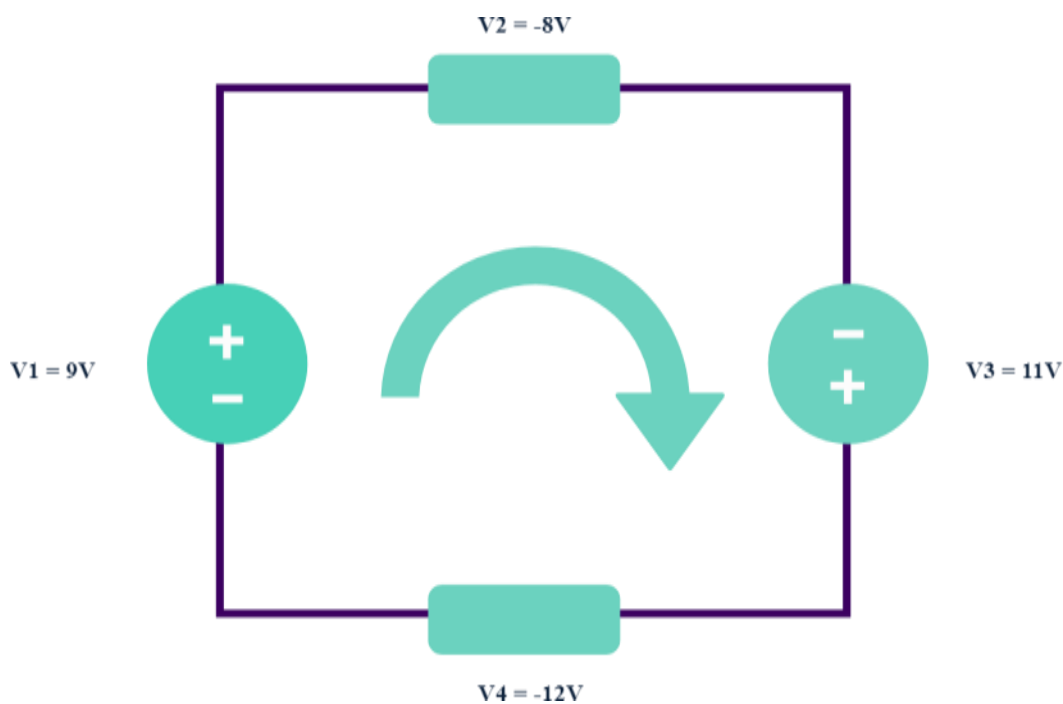
Conocida como ley de la tensión establece que la suma algebraica de las tensiones en una trayectoria cerrada (o malla) es cero.

La Ley de mallas, por su parte, establece lo siguiente:

“En una malla la suma de todas las tensiones, cada una con su signo correspondiente, es igual a 0” (Inet, s.f.)

Esto es así porque la suma de todas las subidas de tensión debe ser igual a la suma de todas las caídas de tensión, ley de conservación de la energía. Se presenta a continuación la figura con su diagrama.

Figura 9. Diagrama esquemático para la Ley de mallas.



Las fuentes aportan tensión, es decir, son subidas de tensión, por lo tanto, se escriben con signo positivo. Los resistores, por otro lado, son caídas de tensión, es decir, bajadas, por lo que se escriben con signo negativo. La suma algebraica queda así:

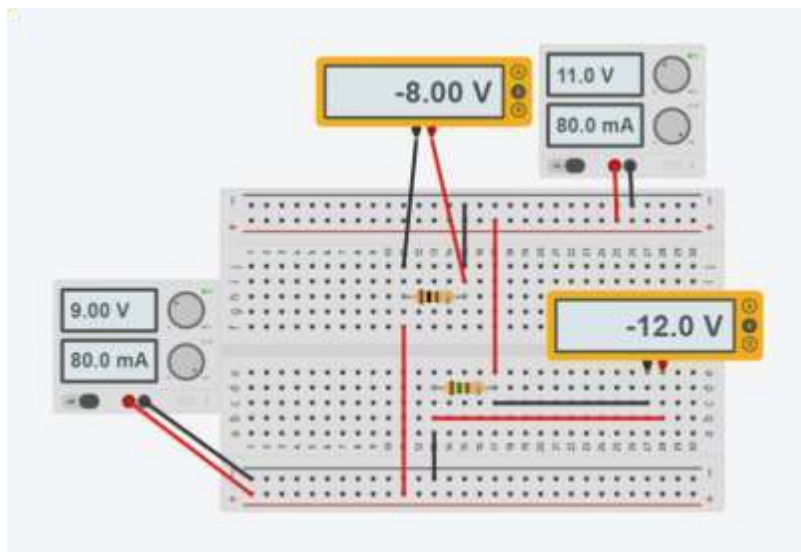
$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0$$

Al reemplazar los valores queda así:

$$9 - 8 + 11 - 12 = 0$$

Una simulación en *Tinkercad* permite comprobar esta ley, ver figura.

Figura 10. Simulación de la Ley de mallas.



Si se hace este planteamiento al ejercicio analizado por nodos en la figura 10 se debe llegar a los mismos resultados, para este caso se tienen dos mallas, por lo que resulta un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, lo que hace el análisis un poco más complejo, en algunos casos puede resultar al contrario y se debe elegir la técnica que demande menos esfuerzo.

La primera malla tiene una subida de tensión y dos bajadas, la segunda igual, pero con el sentido contrario, en términos de voltaje las caídas de tensión en la malla 1 se escriben de la siguiente manera:

En la resistencia de 1500Ω la caída de tensión está dada por:

$$V=1500 I_1$$

En la resistencia de 220Ω la caída de tensión está dada por:

$$V= 220 (I_1 - I_2)$$

En la resistencia de 1000Ω la caída de tensión está dada por:

$$V= 1000 I_2$$

En la malla 1 está la subida de tensión aportada por la fuente de 5V y las dos caídas de tensión de los resistores de 1500Ω y 220Ω , la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$5V - 1720 I_1 + 220 (I_1 - I_2) = 0$$

y la malla 2 tendría el siguiente planteamiento:

$$-10 V - 1000 I_2 - 220 (I_1 - I_2) = 0$$

Se tiene un sistema de 2x2, al realizar los despejes se obtienen los siguientes valores, que son los mismos valores obtenidos con el procedimiento anterior.

$$I_1 = 1,9 \text{ mA}$$

$$I_2 = 7,85 \text{ mA}$$

Es su elección el método a utilizar, algunos circuitos ofrecen mayor facilidad con un método determinado, eso hace parte del análisis.

1.3. Interpretar mediciones de magnitudes eléctricas

Como se ha afirmado, no es suficiente con medir, esto solo hace parte del proceso. Es posible que una persona aprenda a medir muy bien, es decir, sabe hacer buen uso del instrumento, aplicando las normas y procedimientos técnicos, pero es posible que no sepa analizar esos datos.

Un ejemplo típico de esto queda mejor documentado con el siguiente caso.

Un computador no quiere encender. El usuario dice que prenden todos los bombillos y se escucha el sonido del ventilador, pero no aparece nada en la pantalla.

Cuando el ingeniero viene a revisar el caso le pide a su técnico auxiliar que verifique las tensiones en las tomas. El técnico usa su voltímetro y mide la tensión en los puntos de conexión y le informa al ingeniero que todo está bien, que se debe buscar el problema por otro lado.

Sin embargo, el ingeniero quiere indagar más y no queda muy conforme con la respuesta. Le pide que mida de nuevo, pero esta vez él lo supervisa y le solicita el dato

medido. Efectivamente, el técnico estaba usando bien el instrumento. Le entrega el valor medido de la tensión, la cual era de 70 voltios. Con este dato el ingeniero supo cuál era el problema y lo solucionó de inmediato.

¿Qué pasó aquí?

Evidentemente hubo un problema de interpretación de datos, para el técnico medir era solo lo que sabía hacer y al hacerlo encontraba un valor y para él era suficiente.

Sin embargo, este dato, a pesar de que no era errado, no correspondía a lo que se debería medir, ya que se denotaba que algo estaba mal, pues ese no era el valor correcto.

Para que los equipos funcionen bien deberían haber aproximadamente 120 voltios, al medir solo 70, indicaba que había una baja de tensión, por algún problema en la subestación y esto impedía que el equipo encendiera.

Estos casos son muy comunes, en muchos de ellos, los datos medidos no reciben la suficiente atención y llevan a cometer errores. Es aquí donde se hace imprescindible el procedimiento de calcular.

Los datos obtenidos en estos cálculos dan una idea de lo que se pretende medir y solo es cuestión de hacer ajustes hasta obtener el valor calculado, también puede suceder que el cálculo esté mal elaborado, es la práctica y la constancia la que lleva al buen desempeño en estos análisis.

2. Especificaciones técnicas de productos electrónicos

Los equipos vienen con unas especificaciones técnicas establecidas por el fabricante. Es importante tener en cuenta estos parámetros, debido a que conlleva al buen funcionamiento del equipo, a mantener el consumo energético dentro valores aceptables y también a garantizar la armonía con el medio ambiente.

Muchas de estas especificaciones técnicas están reguladas por normas establecidas en cada país, para el caso de Colombia, el Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ

(Resolución 41012 del 18 de septiembre de 2015 -RETIEQ) establece cómo se debe dar esta información al usuario final. Esta información suministra datos técnicos claves del equipo, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 11. Información técnica de un refrigerador.



Uno de los datos más importantes tiene que ver con la eficiencia. Los que están más cerca de la letra A son los de bajo consumo, significan un ahorro considerable para el usuario, pero son más costosos. Es importante entonces analizar esa relación, para equipos que están mucho tiempo conectados, tipo refrigerador o tipo aire acondicionado.

Tener una eficiencia A puede significar una diferencia grande en el costo de la energía eléctrica y compensar enormemente lo invertido en el equipo.

El porcentaje de ahorro marcado en la etiqueta está comparado con equipos de las mismas características de antigua tecnología, es decir, que, si se posee una nevera de antigua tecnología en el hogar, al cambiarlo a una tecnología moderna significa un ahorro del 63% en el consumo energético de ese producto.

Otro dato importante referido a las especificaciones técnicas tiene que ver con la tensión de trabajo, muchos acondicionadores de aire y otros equipos de refrigeración vienen

etiquetados para su funcionamiento a 220 voltios; sin embargo, la mayoría de las redes eléctricas que llegan a los hogares colombianos funcionan a 110 voltios, lo que hace necesario solicitar a la empresa proveedora de energía un cambio de acometida. La pregunta que surge aquí es: ¿siempre será necesario hacer ese cambio? Naturalmente que sí, ya se compró el equipo, la respuesta va a ser sí. Si aún no posee el equipo, la respuesta es no.

Muchos asesores le hacen ver al cliente que si compran estos productos a 220 voltios el costo de la energía va a ser menor, lo cual no es cierto, las empresas de energía tienen establecido el costo para el vatio/hora y este no cambia porque la persona tenga acometida de 220 voltios o de 110 voltios. Lo que sí es cierto es que los equipos con eficiencia A, en su mayoría, están contruidos específicamente para funcionar a 220V.

La incompatibilidad con la acometida eléctrica está más marcada con los equipos de refrigeración, para la mayoría de los equipos electrónicos sus etiquetas dicen que pueden funcionar sin ningún problema desde los 100 voltios hasta los 280 voltios.

La característica técnica a tener en cuenta es el consumo de energía; no siempre el consumo marcado en la etiqueta corresponde al real del equipo, muchas veces está referido al máximo, por lo que al hacer un cálculo con estos datos hay que utilizar un promedio. A continuación, se presenta un ejemplo.

Figura 12. Ejemplo de consumo de energía.



Un equipo de sonido tiene marcado en su etiqueta que suministra 1.500 vatios de potencia. Sin embargo, esto solo se da en intervalos de segundos y dependiendo del nivel de volumen al que lo tenga el usuario. Si el contenido reproducido en el equipo tiene mucho contenido de frecuencias bajas, probablemente consuma más energía; es por eso que para hacer cálculos de consumo se utiliza la potencia media consumida.

La Potencia PMPO (Peak Music Power Output) o máximo pico de potencia de salida no es un valor real, son picos instantáneos que se dan en ciertos intervalos de audio.

Por su parte la Potencia RMS (Root Mean Square / Raíz cuadrada media) es el valor eficaz, resulta de sacar un promedio cuadrático de todos los valores picos generados; lo que es diferente de un promedio normal, ya que este posee tantos valores positivos como negativos, dando como resultado un valor de 0, en cambio el cuadrático convierte todos los valores negativos en positivos.

2.1. Requerimientos de calidad

Para un equipo de sonido, por ejemplo, los requerimientos pueden variar, si solo va para un hogar común donde estará encendido al máximo volumen solo por unas horas, dos veces al mes, es probable que los requerimientos sean diferentes a otro, que estará en un establecimiento público, donde estará a pleno volumen durante 6 días a la semana por unas 15 horas. En este caso, la percepción de la durabilidad del equipo para presentar la primera falla es diferente para cada cliente. El dueño del establecimiento puede pensar que no le duró nada, ya que al menos al tercer mes de uso, probablemente ya deba repararlo, mientras que en el hogar pueden pasar hasta dos años para percibir esa misma falla.

Una fórmula infalible para determinar la calidad de un producto es su relación con el costo. Es indudable que la calidad cuesta. Es probable que una pieza musical en un equipo barato suene con determinada calidad y luego esa misma pieza en un equipo costoso no se note mayor diferencia en el sonido, pero las diferencias comienzan a notarse con el paso del tiempo al tratar de percibir esa misma sensación, es probable que el equipo barato ya presente algún desgaste y solo hasta entonces se pueda percibir alguna diferencia notable en la calidad del sonido.

Lo mismo puede pasar con un televisor, ya que es probable que dos equipos con características de fabricación diferentes, uno barato y otro costoso, en un principio no se note mucha diferencia en cuanto a la imagen. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, empiezan a notarse la disparidad.

Estos requerimientos de calidad se hacen más notorios cuando se refieren a los accesorios, por ejemplo, se daña el cargador de un equipo de computador portátil, lo primero que hace el comprador es buscar lo más barato del mercado, los primeros días el cargador funciona bien, de hecho el usuario no nota ninguna diferencia, pero con el paso de los días comienzan las fallas, solo carga a ratos y en algunos caso resulta hasta un daño adicional del equipo, como lo es el pin de carga quemado por mala calidad de las placas de contacto en el cargador.

La mayor diferencia está por dentro, los componentes de calidad son diferenciables a simple vista, los dispositivos originales y más costosos garantizan una mayor eficacia y durabilidad, los genéricos y falsificados solo funcionan bien por algunos días. Externamente los equipos son iguales, la diferencia en la construcción de las placas es bastante notoria, esto sucede para muchos productos electrónicos, equipos funcionales, con características similares, pero con poca vida útil.

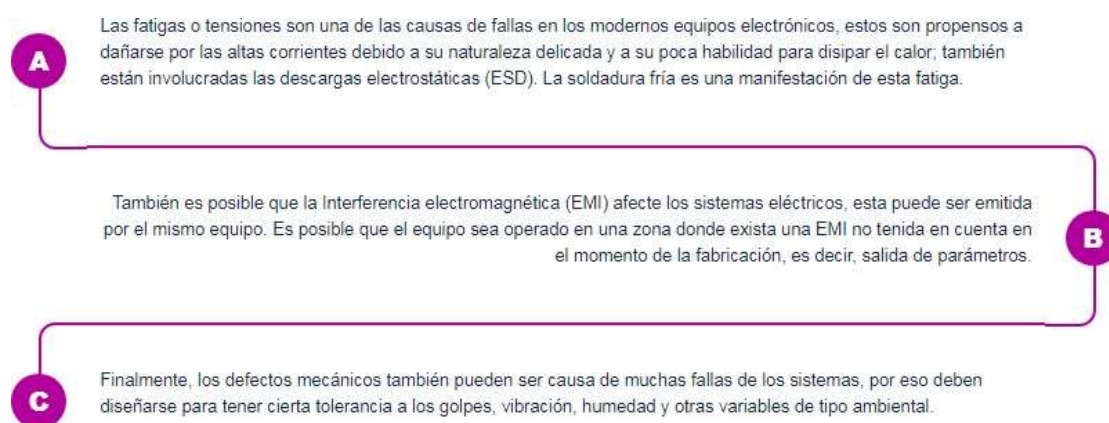
2.2. Tolerancias del producto

Cuando se refiere a la tolerancia de un producto electrónico se habla de un rango aceptable, hasta dónde pueden llegar ciertos valores o características, por ejemplo, si se compra un cargador genérico para un computador portátil, cuyo voltaje de salida debe ser 18.5 voltios, pero el fabricante del computador establece que el voltaje de entrada para ese equipo es de 18.5 voltios con una tolerancia de $\pm 2\%$, es probable que ese cargador genérico suministre un voltaje salido de esos parámetros, como por ejemplo 18.9 voltios, como suele ocurrir, es probable que esto repercuta en un daño posterior al computador portátil.

La norma IPC A 610 (2017) Aceptabilidad de ensamblajes electrónicos es el estándar de calidad de circuitos impresos PCB, más usado por la industria electrónica. En ella se establecen algunos niveles de tolerancia para productos electrónicos.

Los componentes electrónicos también tienen sus niveles de tolerancia y ellos definen la de los equipos. Estos niveles se encuentran detallados en las hojas de datos. Los componentes varían sus parámetros a través del tiempo, los analógicos pueden desviarse de sus valores teóricos, debido a varios factores como la temperatura o la humedad, de manera que los circuitos críticos necesitan ser diseñados con un nivel de tolerancia tal que puedan compensar la desviación de los parámetros en los componentes. A continuación, se presentan algunas causantes de fallas.

Figura 13. Causas de fallas.



- A. Las fatigas o tensiones son una de las causas de fallas en los modernos equipos electrónicos, estos son propensos a dañarse por las altas corrientes debido a su naturaleza delicada y a su poca habilidad para disipar el calor; también están involucradas las descargas electrostáticas (ESD). La soldadura fría es una manifestación de esta fatiga.
- B. También es posible que la Interferencia electromagnética (EMI) afecte los sistemas eléctricos, esta puede ser emitida por el mismo equipo. Es posible que el equipo sea operado en una zona donde exista una EMI no tomada en cuenta en el momento de la fabricación, es decir, salida de parámetros.

C. Finalmente, los defectos mecánicos también pueden ser causa de muchas fallas de los sistemas, por eso deben diseñarse para tener cierta tolerancia a los golpes, vibración, humedad y otras variables de tipo ambiental.

2.3. Verificación de atributos

El atributo define al producto electrónico, verificarlo hace posible el rechazo o la aceptación, por ejemplo, en el caso de los cargadores genéricos es posible verificar el acabado de la carcasa, la forma del conector o el estado de los terminales del conector, en muchas ocasiones, la mala presentación de estos por sí solo es causal de rechazo.

Atributos que permiten identificar un producto falso. El lado derecho representa el componente original y el izquierdo es el falso.

En los computadores portátiles, teléfonos inteligentes, una inspección a los atributos físicos del equipo es suficiente para determinar su naturaleza. El mayor cuidado se debe tener cuando se está adquiriendo un producto costoso, pues se supone que si es costoso es porque es original y se puede estar siendo víctima de una estafa; algunos proveedores dejan claro que los productos que ofrecen son imitaciones, por lo que es decisión del cliente aceptar o no el producto.

El desarrollo de un producto requiere tener en cuenta los mismos atributos de calidad y tolerancia, sin embargo, para su aplicación en la fabricación en serie, el factor determinante es la inversión. Es importante tener en cuenta que la fabricación de un producto de alta calidad implica un mayor costo, por lo que, al momento de ponerlo en venta, su precio será mayor para poder recuperar la inversión realizada.

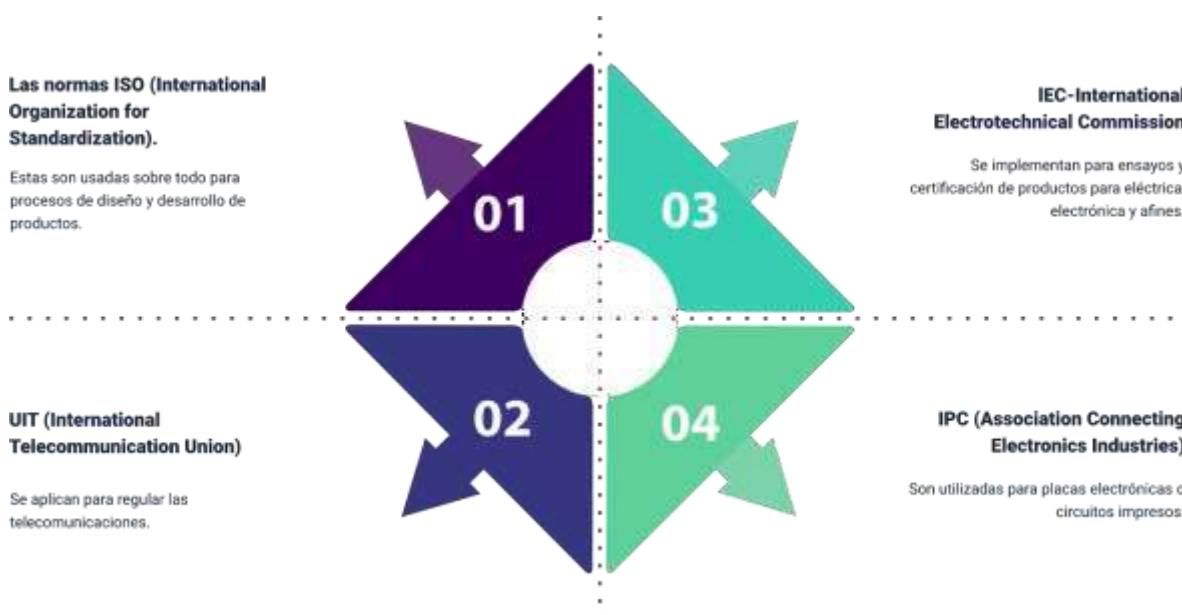
No hay nada más incómodo para un desarrollador que la devolución por garantía de un producto, además de asumir costos por el envío, se queda con la mala fama de un cliente insatisfecho y eso es muy difícil de medir. De ahí, la importancia de definir bien los atributos de estos productos y tratar de no crear falsas expectativas.

3. Normas técnicas

En Colombia, los procesos de medición están regulados por la norma técnica NTC-ISO 10012 del 26 de junio de 2003 Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición, la cual tiene como objetivo gestionar los procesos de medición en las empresas dedicadas a esta labor. Es necesario consultar esta norma para el desarrollo de productos que involucren la medición de magnitudes físicas de aplicación pública, por ejemplo, para medir la potencia consumida en los hogares. En este orden de ideas, si lo que se pretende es desarrollar productos electrónicos que miden el volumen del gas consumido, también será necesario consultar la norma técnica NTC colombiana 2505.

En el ámbito internacional rigen otro tipo de normas que están a cargo de entes específicos para procesos determinados, que hacen que los productos electrónicos sean usados en cualquier parte del mundo manteniendo los estándares de compatibilidad. La siguiente figura expone los entes reguladores.

Figura 14. Entes reguladores.



1. Las normas ISO (International Organization for Standardization).

Estas son usadas sobre todo para procesos de diseño y desarrollo de productos.

2. UIT (International *Telecommunication Union*)

Se aplican para regular las telecomunicaciones.

3. IEC-International *Electrotechnical Commission*

Se implementan para ensayos y certificación de productos para eléctrica, electrónica y afines.

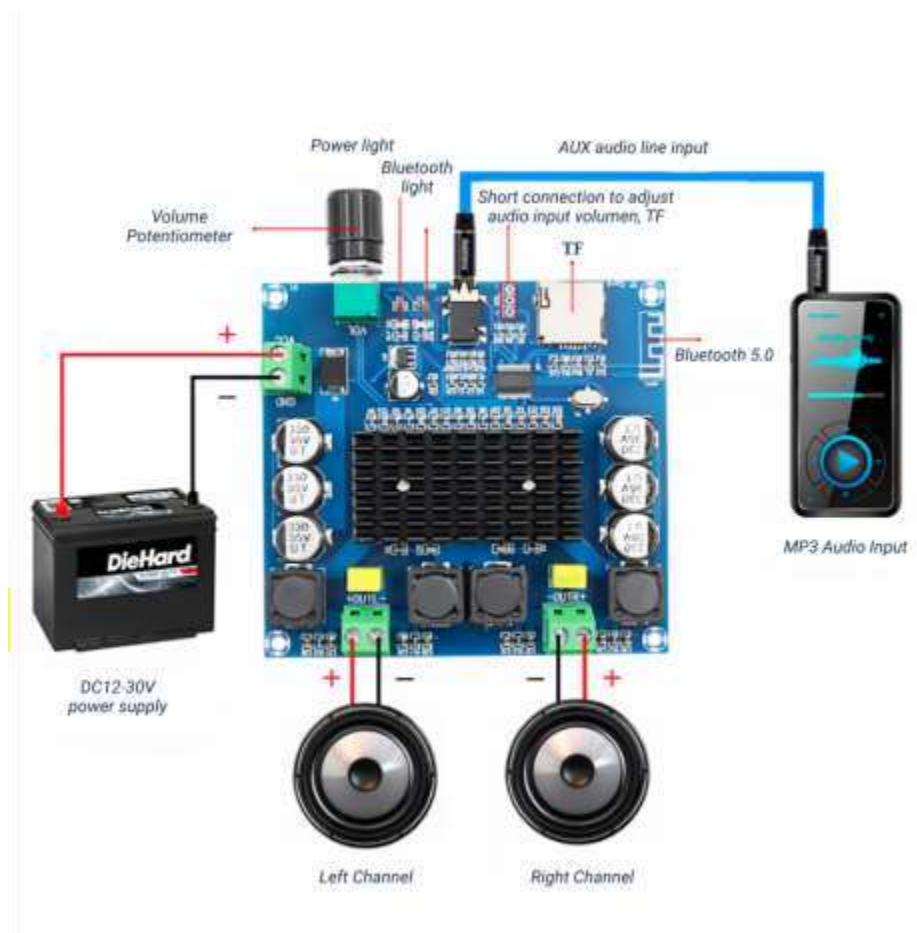
4. IPC (*Association Connecting Electronics Industries*)

Son utilizadas para placas electrónicas o circuitos impresos.

En electrónica las normas más utilizadas son las normas IPC. En ellas están definidos todos los parámetros necesarios para el desarrollo de un producto electrónico de calidad, amigable con el medio ambiente y que cumpla con los estándares internacionales para poder ser usado en cualquier parte sin ningún tipo de modificación.

En los productos electrónicos se aplican muchos estándares internacionales, es por ello que pueden ser comercializados en cualquier parte del mundo. La siguiente figura corresponde a un amplificador de audio, el cual puede ser conectado a todo tipo de teléfono móvil o consola, además de que se puede utilizar el bluetooth o el cable; y sin importar cómo se use, de cualquier forma, va a sonar igual y sin ninguna incompatibilidad, puesto que ambos, generador de sonido y amplificador, siguieron las mismas normas en los procesos de fabricación.

Figura 15. Placa fabricada con todos los estándares.



Nota. Tomado de Alicdn.com (s.f.).

Power light

Volume Potentiometer

Bluetooth light

AUX audio line input

Short connection to adjust audio input volumen, TF

Bluetooth 5.0

DC12-30V power supply

Left Channel

Right Channel

MP3 Audio Input

Árbol de normas IPC

Existen normas para cada paso en el proceso de fabricación, tal como se aprecia en la imagen.

Imagen 1. Árbol de normas IPC.



3.1. Normas de calidad

Este tipo de normas dan las pautas para lograr un producto de calidad. Son aplicadas a los procesos de medición y están referidas a los parámetros válidos para mantener la calidad del producto. Dentro de ellas se encuentran las siguientes.

IPC 600 – Aceptabilidad de circuitos impresos

Esta norma aplica a los diseñadores, ensambladores, soldadores, cables, reparadores, la norma establece los criterios de inspección de calidad visual, es la norma más difundida en la industria electrónica mundial, apoya las actividades de diseño, manufactura y mantenimiento en electrónica. Contiene apartados del IPC 600 y el IPC JST 001. La norma más actualizada es la IPC A 610 G (IPC-A-610 en español. La letra «A» es de aceptación de calidad).

IPC 610: Aceptabilidad del ensamble electrónico

Es quizás el estándar de calidad de circuitos impresos PCB más usado por la industria electrónica, en ella se establecen los criterios para aceptar o rechazar los PCB y la soldadura de tarjetas o productos electrónicos, componentes SMD y THT.

IPC 620: Requisitos y aceptación para cables y conexiones

Aplica a quienes trabajan en ensamble de cables y alambres para la fabricación e instalación de cables. Criterios visuales de aceptación.

Si se incluyen las telecomunicaciones, también será necesario aplicar las normas de calidad referidas a esta área, estas incluyen la ISO 9001, TL9000 y ESD S20.20. Estas normas ofrecen un sistema de gestión de calidad en electrónica y telecomunicaciones, también identifica requisitos específicos para los proveedores del área. La norma ANSI/ESD S20.20 se centra en los componentes electrónicos utilizados en las telecomunicaciones y establece los controles para proteger a los elementos y dispositivos de las descargas electrostáticas.

Adicionalmente, puede ser necesario consultar otras normas, las cuales se aplican dependiendo de la naturaleza del producto desarrollado.

3.2. Normativa aplicable al producto

Cuando se desarrolla un producto electrónico es necesario aplicar algunas normas, que al final conllevan a obtener un producto amigable con el medio ambiente, a través también de un consumo energético aceptable. Si se hace referencia a los procesos de medición se encuentran algunos parámetros que se deben cumplir: niveles de tensión, potencia de consumo y emisión electromagnética.

Cuando se tiene un producto electrónico, desarrollado y en funcionamiento, probablemente sea necesario efectuar algunos cálculos y mediciones o realizar alguna inspección visual y pruebas de funcionamiento para verificar si cumple con los estándares descritos en las siguientes normas:

IPC-7711/21

Este estándar proporciona múltiples técnicas aprobadas por la industria, relacionadas con el proceso de perforado y montaje superficial, así como la preparación de superficies, conductores y laminados. Es probable que deban efectuarse algunas mediciones para determinar el estado de conectividad de algunos componentes, si no existen pistas aisladas, soldadura mal puesta, etc.

Al aplicar un proceso de medición puede resultar en baja conductividad o circuitos completamente aislados.

IPC 2221

Esta norma define los requerimientos para el diseño de PCB. Está dentro de las normas más usadas, define los requerimientos para el diseño de PCB, estableciendo unas reglas de diseño y recomendaciones que incluyen el ensamble de los componentes, tipo

THT (*Through-Hole Technology*) huecos pasantes, SMT (*Surface-Mount technology*) montaje.

IPC-T-50M

Términos y definiciones para la interconexión y encapsulados de circuitos electrónicos.

Este tema es importante debido a que necesariamente deben mantenerse los estándares para el montaje de circuitos impresos, las medidas de estos son precisas y milimétricas y, el diseño de la PCB y las pistas de interconexión deben estar sujetas a los parámetros de estos chips.

Adicional a ello, estas medidas pueden ser verificadas y comprobadas si al imprimir la placa están dentro de los valores de tolerancia.

Adicionalmente, será necesario verificar algunos estándares internacionales:

a. ISO 14001: contiene los requisitos necesarios para implantar un Sistema de Gestión Ambiental.

b. ISO 5001: corresponde a un sistema de gestión electrónica muy importante, dado que trata exclusivamente la gestión energética.

Este tipo de normas están orientadas más que todo a las empresas y le brindan pautas para la gestión, implementación y puesta en marcha de procesos para el desarrollo y la distribución de estos productos. Establecen los estándares de calidad que se deben cumplir a la hora de comercializar los productos.

3.3. Normativa aplicable al proceso

Es quizás en el proceso de fabricación del producto donde se aplican la mayor cantidad de normas y es precisamente donde más cuidado se debe tener, bien sea porque se trate de un proceso desarrollado en serie o por la fabricación de un producto único. En cualquiera de los casos será necesario tener en cuenta la normatividad vigente.

Ahora bien, si se trata de un proceso de producción en serie, es necesario aplicar la siguiente normatividad:

OHSAS 18001 / ISO 45001

Aquí se implementa el sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, esta aplicación es necesaria para garantizar la salud de los trabajadores y por consiguiente la mejora de la productividad.

ISO 27001

Esta norma establece los sistemas de gestión de la seguridad de la información. Busca en gran medida proteger los derechos de autor.

Muchos productos electrónicos son susceptibles de copias indebidas, es decir, que puede tratarse de un invento novedoso y por lo tanto, es necesario aplicar todos los criterios para garantizar los derechos de autoría de su creador. Muchos de los artefactos que se usan diariamente en el hogar poseen derechos de autor y parte del dinero de la compra será destinado a su creador.

IPC D-325

Requisitos para documentar los requerimientos de la PCB, ensamblajes y esquemas electrónicos. Es posible que después de realizar algunas pruebas se deba documentar todo el proceso y entregar los resultados de los cálculos y mediciones. Esta norma establece los procedimientos para documentar estos procesos.

IPC-7351B

Requisitos genéricos para el diseño SMD y estándar para el diseño de las pistas de soldadura. Esta norma es muy importante ya que establece las reglas de diseño para los conductores en la placa, además en su versión digital incluye una calculadora que facilita la creación de las pistas, indicando grosor, tamaño y otros parámetros.

IPC-2252

Guía para el diseño de PCB utilizada en radiofrecuencia y microondas. Cuando el equipo electrónico incluye radiofrecuencia es necesario un tratamiento especial. Esta norma establece las reglas para garantizar un funcionamiento confiable en este tipo de dispositivos.

Como se observa en la imagen, este tipo de placas poseen unos acabados especiales, establecidos en esta norma, los cables vienen con un apantallamiento especial y este casi siempre se extiende a los componentes ensamblados en la placa.

IPC-2255

Guía de diseño para el empaquetado de circuitos electrónicos de alta velocidad. Los circuitos de alta velocidad también están relacionados con la frecuencia, pero en este caso está referida al funcionamiento interno de un chip, es así como un procesador o una memoria están dentro de esta categoría, por lo tanto, el empaquetado o carcasa del componente debe cumplir con unos estándares, para evitar la pérdida de datos por mal montaje y por consiguiente, mal funcionamiento del producto donde se utilice.

Esta alta frecuencia también produce calentamiento del componente, por lo que será necesario la implementación de un sistema de refrigeración, el cual no debe interferir en el buen funcionamiento del dispositivo.

Será necesario efectuar algunas mediciones para verificar que los valores están dentro del rango permitido por el fabricante, las cuales incluyen temperatura al componente y su frecuencia de operación.

4. Mejora continua

Cuando se habla de mejora continua, se habla de constante cambio.

Este concepto está inmerso en los procesos de medición, pues cuando este se efectúa aplicando todas las normas e interpretando de manera adecuada los resultados obtenidos, necesariamente se implementa un proceso de mejora continua, ya que se deben hacer ajustes, cambiar parámetros, incluso buscar nuevos componentes si los resultados

obtenidos no son satisfactorios. En algunos casos será necesario comenzar de nuevo el desarrollo del producto.

Los productos electrónicos están en constante evolución. Día a día se desarrollan nuevas tecnologías, muchas de ellas pueden ser involucradas en productos ya desarrollados, lo que permite mejorarlos, innovarlos o crear uno nuevo con mejores prestaciones. Es probable que al efectuar la medición de la corriente de consumo de un hogar común comiencen a surgir ideas sobre cómo mejorar ese consumo y hacer el producto más eficiente y amigable con el medio ambiente. Esto ha sido así siempre, un ejemplo de ello es la bombilla eléctrica.

Figura 16. Evolución de la bombilla eléctrica.



Incandescente, Fluorescente, Ahorrador y LED (alta eficiencia).

En mediciones efectuadas a las primeras bombillas incandescentes, los resultados arrojaban que, para un alto consumo de energía, generaban pocos lumens (Iluminación), y en cambio disipaba grandes cantidades de calor. El 70% de la energía consumida se transformaba en calor, siendo que el sentido de esta era alumbrar y no calentar. Es allí cuando surge la luz fluorescente como una solución, mejoró en gran medida esa eficiencia, pero adicionalmente tenía un problema, necesitaba de mercurio para funcionar, y este es altamente peligroso para la salud, por lo que el siguiente paso fue el bombillo LED, mucho

más eficiente y sin componentes dañinos. Este mismo análisis se puede hacer para muchos dispositivos electrónicos, sobre todo los del hogar.

4.1. Metodología

La metodología más utilizada para la mejora continua es el método Kaizen, vocablo japonés derivado de dos palabras, «kai», que significa cambio, y «zen», que expresa para algo mejor, lo que quiere decir cambiar para mejorar o mejora continua, que aplica en todos los contextos. En otras palabras, cuando se están efectuando mediciones en un equipo electrónico se puede estar pensando en cómo mejorar esos resultados obtenidos.

Las tres herramientas principales del Kaizen son:

1. Lograr un enfoque de gestión integral de los procesos para mejorar la calidad.
2. Mejorar la productividad con base en la filosofía justo a tiempo.
3. Desplegar la gestión por objetivos para mantenerse enfocado y motivado.

En términos generales lo que indica el Kaizen es que si se quiere generar cambios sostenibles en el tiempo se deben lograr cambios radicales en el corto plazo, haciendo mejoras pequeñas en el día a día, lo que finalmente llevará a objetivos grandes.

En la actualidad existe una amplia gama de técnicas para lograr el proceso de mejora continua, por ejemplo:

El ciclo PDCA

(Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) se refiere a los 4 momentos implementados en un proceso de mejora continua.

Análisis de valor

Se enfoca en el valor añadido de un producto y en la búsqueda de opciones para la reducción de ese valor. Se trata de realizar lo mismo a menor costo.

Los 5 porqués:

En este método se revisan las causas que llevan a una falla haciendo una serie de preguntas (no necesariamente cinco), es como aplicar la ingeniería inversa, hasta detectar el origen del problema, sacar las conclusiones y definir las soluciones.

Estratificación

En este método se divide la información en niveles. Los datos de la falla detectada se clasifican teniendo en cuenta criterios como el material, los tipos de defectos, los grupos de trabajo, entre otros. Se trata de aislar las causas del fallo y mejorar los procesos asociados, dando prioridad a aquellas áreas del proceso que más lo requieran.

Lean manufacturing

Este modelo se enfoca en el consumidor y sus necesidades, destinando recursos que llevan a la reducción de costos.

DFSS

Este método se especializa en la obtención de nuevos productos o servicios. La calidad se logra planteando seis etapas: definición, medición, análisis, optimización y por último, verificación de los resultados.

Diagrama de afinidad

Da claridad a situaciones de alta complejidad a través de la agrupación de ideas que guardan relación entre sí. La idea es confirmar datos que en un principio no se habían tenido en cuenta. Es un modelo muy útil para organizaciones grandes.

4.2. Manejo de indicadores

La implementación de un proceso de mejora continua lleva a obtener mejores resultados tanto en la gestión del producto como en la reducción de los costos, mejora de procesos, gestión de residuos y clientes satisfechos. Para lograr todo esto es necesario analizar y medir la eficiencia y productividad de todos los procesos.

De ahí la necesidad de un sistema de medición que permita gestionar y tener claro dichos resultados para poder actuar. Existen varios indicadores utilizados en las empresas para medir la evolución:

OEE (Eficiencia Global de los Equipos)

Indica el porcentaje del tiempo de producción planeado y que es productivo.

TEEP (Rendimiento Efectivo Total de los Equipos)

Es un indicador de rendimiento que proporciona información sobre capacidad de operación de los equipos de fabricación.

FTT (Calidad a la Primera)

Este es un indicador básico de calidad de un proceso, muestra el porcentaje correcto de equipos que se hacen bien en el primer momento, sin necesidad de operaciones adicionales.

OTD (Entregas a Tiempo)

Porcentaje de entregas formales que se entregan a tiempo.

BTS (Fabricación Según Programa)

Es un factor de corrección con el que una planta ejecuta la producción planeada para producir los volúmenes correctos de producto, en el día correcto y en la secuencia correcta.

ITO (Tasa Rotación Inventario)

Sumar el coste de todos los productos vendidos durante un periodo determinado y dividirlos por el promedio que estuvo disponible esa mercancía durante el mismo periodo de tiempo. Está definida por la siguiente fórmula matemática:

$$\emptyset = \frac{\text{Costo de mercancía vendida}}{\text{Promedio del inventario}}$$

RVA (Ratio Valor Añadido)

Indica el porcentaje que le aporta valor a un producto.

PPMs (Partes Por Millón de Defectos)

Indica el número de partes no conformes en el proceso, expresado en partes por millón.

FR (Tasa Cumplimiento Entregas)

Este indicador mide la cantidad que se entrega a los clientes con respecto a lo solicitado. Está referido a la satisfacción de los pedidos con el inventario.

IFA (Índice de Frecuencia de Accidentes)

El índice de frecuencia es un indicador sobre el número de accidentes ocurridos en un periodo de tiempo, en el cual los trabajadores se encontraron expuestos a ese riesgo.

MTBF – MTTR (Fiabilidad y Mantenibilidad del Equipo)

Este es uno de los principales indicadores de la disponibilidad de un equipo, indica el promedio de tiempo que hay entre dos fallas de un mismo equipo. Un número alto indica un buen funcionamiento del equipo.

4.3. Acciones de mejora

Si se implementa un proceso de mejora continua, necesariamente hay que aplicar unas acciones que permitan detectar fallas y prevenir futuras. En mediciones de las magnitudes eléctricas, las acciones llevan a ajustar los valores para que estén en sintonía con lo que inicialmente se estableció como objetivo.

Por ejemplo, si planeo que el equipo consumiera 5 vatios de potencia y en las mediciones resultó un valor de 5,5 vatios, se hace necesario implementar un plan de mejora para ajustar esos valores.

A continuación, se presentan algunas acciones genéricas establecidas como acciones de mejora en varios campos.

Definir los procesos claramente

El principio de Pareto (Vilfredo Pareto, 1896) establece que la mayoría de las cosas en la vida y los negocios no se distribuyen de manera uniforme, también es conocida como la regla del 80/20. Si se aplica a la propiedad estable que el 20% de los propietarios posee el 80% de las tierras de una región, mientras que el restante 20% de los terrenos pertenece al 80% de la población restante; estos valores no son arbitrarios, es solo una aproximación que sirve como referente.

¿Cómo se aplica a los productos electrónicos? Cuando uno tiene una cantidad de productos grandes para concentrar los esfuerzos de control en los más significativos se suele utilizar el principio de Pareto. Así, controlando el 20% de los productos existentes puede controlarse aproximadamente el 80% del valor de los artículos del total producido.

Inspeccionar productos constantemente

Se deben realizar pruebas de calidad desde el principio, desde la misma concepción del prototipo hasta la producción en serie. Estas pruebas permiten detectar fallas no tenidas en cuenta, es importante contar con una realimentación de los clientes.

Asimismo, permite reducir los costes de producción. A medida que se afinan los procesos se establecen algunas acciones correctivas que ayudan en este aspecto puntual.

La imagen muestra un producto, que, por alguna razón, tiene una falla en la línea de montaje de componentes. Este componente se encuentra haciendo contacto físico galvánico con las pistas, por lo que la conductividad no se ve afectada y el producto funcionará bien, una prueba de funcionalidad al equipo dará un resultado positivo, pero en pocos días, ese componente mal fijado se puede soltar y ocasionar una falla general, es por eso que una inspección visual se hace necesaria en esta parte del proceso.

Imagen 2. Producto con una falla en línea de montaje.



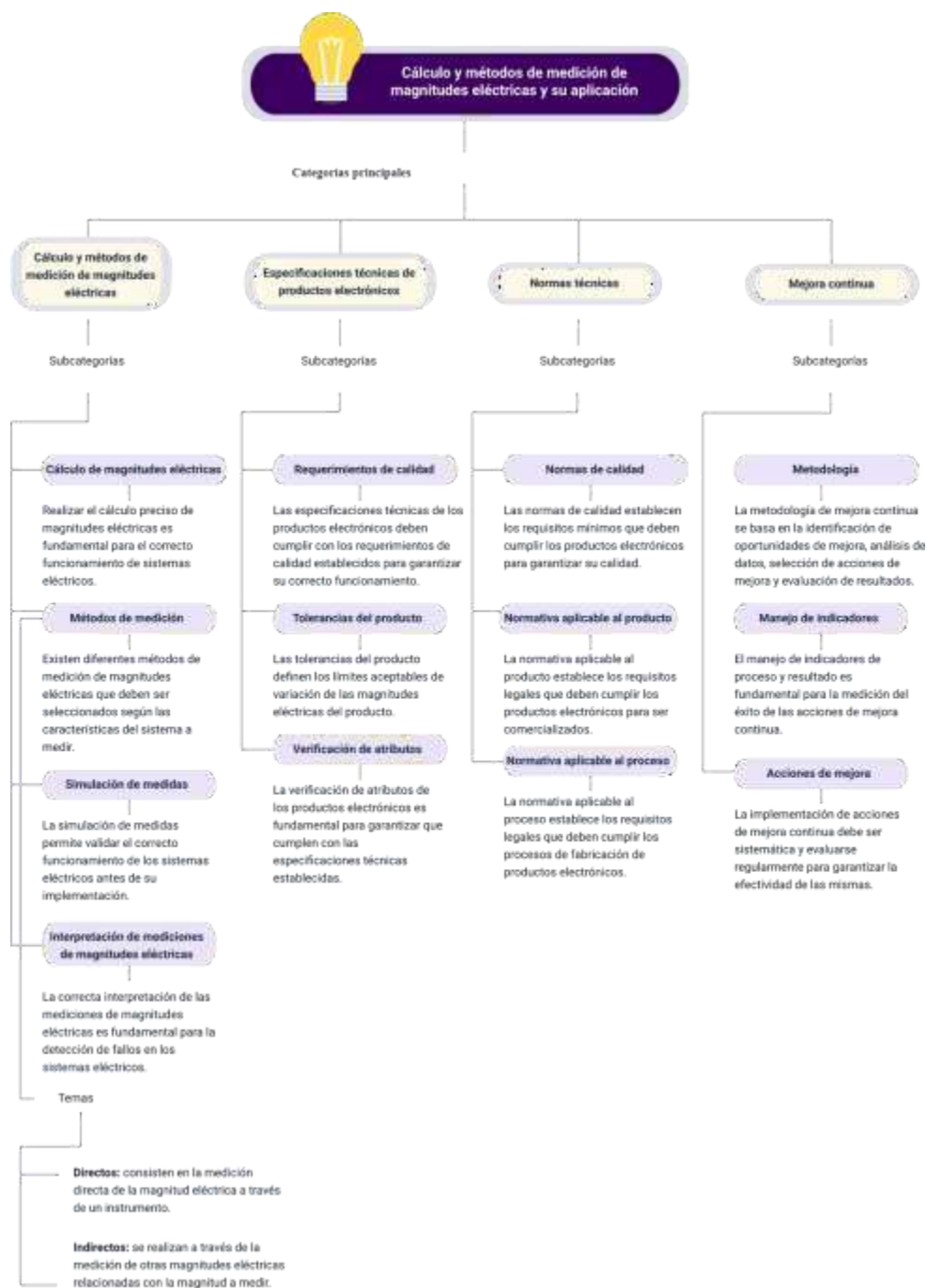
Producto defectuoso. Nota: Tomado de Bcnvisión (2021).

Existen muchas acciones por pequeñas que parezcan, que encajan muy bien en los procesos y permiten tener una mejora continua, puede ser el caso de la reducción de los plazos de ejecución de las actividades, incrementar el rendimiento de los equipos de trabajo y/o aumentar la productividad y por ende, la eficacia en los resultados. Es por eso que se le llama mejora continua, el mismo día a día marca las pautas para seguir mejorando, lo importante es establecer esas acciones oportunas que permitan mejorar cada proceso.

Síntesis

A continuación, se describe el tema principal del componente formativo cálculo y métodos de medición de magnitudes eléctricas y su aplicación, por medio del cálculo y la medición de magnitudes eléctricas, las cuales son fundamentales en la producción y el uso de productos electrónicos. Podemos encontrar cuatro temas principales relacionados con estos conceptos: cálculo de magnitudes eléctricas, especificaciones técnicas de productos electrónicos, normas técnicas y mejora continua. Dentro del tema de cálculo de magnitudes eléctricas se discuten los métodos de medición, simulación de medidas e interpretación de mediciones de magnitudes eléctricas. En el tema de especificaciones técnicas se habla de requerimientos de calidad, tolerancias del producto y verificación de atributos. En el tema de normas técnicas se consideran las normas de calidad, la normativa aplicable al producto y al proceso. Finalmente, en el tema de mejora continua se discute la metodología, el manejo de indicadores y las acciones de mejora. La comprensión de estos conceptos clave puede ayudar a garantizar la calidad y eficiencia en la producción y uso de productos electrónicos.

Figura 17. Síntesis de la información presentada.



Material complementario

Tema	Referencia APA del Material	Tipo de material	Enlace del Recurso o Archivo del documento material
RETIEQ Reglamento Técnico de Etiquetado	Ministerio de Energía. (2015). Reglamento técnico de etiquetado.	Texto, norma	https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-etiquetado-retiq/
Leyes de Kirchhoff	Sígueme la corriente. (2020). Las leyes de Kirchhoff explicadas.	Video	https://www.youtube.com/embed/Vpgug3QBitk
Simulación de circuitos	Autodesk, INC. (2021). Tinkercad, Diseño 3D.	Página web	https://www.tinkercad.com/
Hojas de datos técnicos	Alldatasheet. (2021). Electronic components datasheet search.	Página web de consulta	https://www.alldatasheet.com/

Glosario

Chips: pequeña pieza de material semiconductor que contiene múltiples circuitos integrados con los que se realizan numerosas funciones en computadoras y dispositivos electrónicos (Real Academia Española, 2021).

Conductividad: propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad (Real Academia Española, 2021).

Eficiencia: capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado (Real Academia Española, 2021).

Incertidumbre: falta de certidumbre (Real academia Española, 2021).

Nodo: en un esquema o representación gráfica en forma de árbol, es cada uno de los puntos de origen de las distintas ramificaciones (Real Academia Española, 2021).

Teorema: proposición demostrable lógicamente partiendo de axiomas, postulados o de otras proposiciones ya demostradas (Real Academia Española, 2021).

Referencias bibliográficas

ICONTEC. (2003). NTC-ISO 10012. Sistema de gestión de la medición. ICONTEC.

<https://tienda.icontec.org/gp-sistema-de-gestion-de-la-medicion-requisitos-para-los-procesos-de-medicion-y-los-equipos-de-medicion-ntc-iso10012-2003.html>

INET. (s.f.). Guía de estudio 7: mallas y nodos. Ministerio de Educación Argentina.

http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2020/07/ELECTRONICA_Gu--a07-Mallas-y-Nodos.pdf

IPC. (2018). IPC Standards tree. [gráfico].

<https://blog.matric.com/ipc-standards-chart>

ISO. (s.f.). International Organization for Standardization. <http://www.iso.org/>

Khan academy. (s.f.). *Las leyes de Kirchhoff*.

<https://es.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-resistance/a/ee-kirchhoffs-laws>

Ministerio de Energía. (2015). Reglamento técnico de etiquetado.

<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-etiquetado-retiq/>

Créditos

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Claudia Patricia Aristizabal	Responsable del Equipo	Dirección General
Norma Constanza Morales Cruz	Responsable de Línea de Producción Regional Tolima	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios
Gewin Alfonso Fernández Cáceres	Experto Temático	"Regional Atlántico Centro Nacional Colombo Alemán."
Miroslava González H.	Diseñador y Evaluador Instruccional	Regional Distrito Capital Centro de Gestión Industrial.
Juan Gilberto Giraldo Cortés	Diseñador Instruccional	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios
Ana Catalina Córdoba Sus	Revisora Metodológica y Pedagógica	Regional Distrito Capital Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica.
Rafael Neftalí Lizcano Reyes	Responsable Equipo de Desarrollo Curricular Ecosistema de Recursos Educativos Digitales	Regional Santander Centro Industrial del Diseño y la Manufactura
Julia Isabel Roberto	Corrector de Estilo	Regional Distrito Capital Centro de Diseño y Metrología
Sandra Patricia Hoyos Sepúlveda	Corrector de Estilo	Regional Distrito Capital Centro de Diseño y Metrología
Jhon Jairo Rodríguez Pérez	Diseñador y Evaluador Instruccional	Regional Distrito Capital Centro de Diseño y Metrología
Viviana Esperanza Herrera Quiñonez	Asesora Metodológica	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
José Jaime Luis Tang Pinzón	Diseñador Web	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Sebastián Trujillo Afanador	Desarrollador Fullstack	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios

Gilberto Junior Rodríguez Rodríguez	Storyboard e Ilustración	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Nelson Iván Vera Briceño	Animador y Producción Audiovisual	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Oleg Litvin	Animador	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Cristian Mauricio Otálora Clavijo	Actividad Didáctica	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios
Javier Mauricio Oviedo	Validación y Vinculación en Plataforma LMS	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Naranjo Farfán	Validación de Contenidos Accesibles	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios