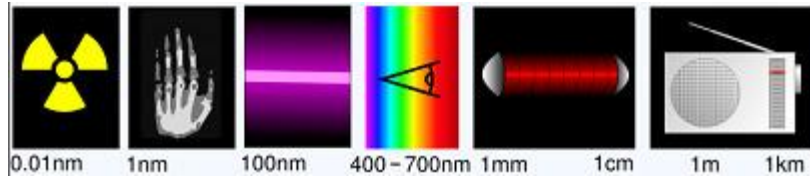


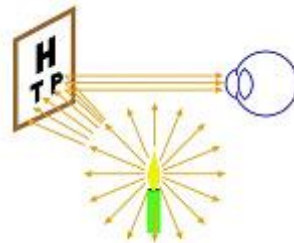
1 - Principios de la inspección visual

1.1 Descripción de la Inspección Visual y Óptica

La inspección visual y óptica utiliza la energía de la porción visible del espectro electromagnético.



Los cambios en las propiedades de la luz, después que entra en contacto con el objeto inspeccionado, pueden ser detectados por el ojo humano o por un sistema de inspección visual.



La detección puede realizarse o puede ser resaltada mediante el uso de espejos, amplificadores (magnificadores), boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.



Algunas inspecciones visuales y de óptica se basan en leyes simples de óptica geométrica y otras dependen de las propiedades de la luz. Una ventaja única de la inspección visual, es que puede proporcionar datos cuantitativos más confiables que cualquier otra Prueba no Destructiva.

1.2 Principios básicos

Formación de la imagen

La formación de la imagen de un objeto se lleva a cabo en el ojo humano u otro accesorio sensible a la luz, la mayoría de instrumentos de óptica son diseñados para formar imágenes. En muchos casos, la manera en que se forma la imagen y su proporción, pueden determinarse por geometría y trigonometría, sin consideración detallada de la física de los rayos de luz. A esta técnica se le conoce como “óptica geométrica”, la cual incluye la formación de imágenes por medio de lentes y espejos. La operación de microscopios, telescopios y boroscopios también puede explicarse parcialmente con la óptica geométrica. Además, las limitaciones más comunes de instrumentos de óptica pueden ser evaluadas con esta técnica.

Fuentes de luz

Las fuentes de luz para inspección visual típicamente emiten radiación del espectro continuo o no continuo (línea). La luz monocromática es producida por el uso de un accesorio conocido como “monocromator”, el cual separa o dispersa las longitudes de onda del espectro por medio de prismas o rejillas.

Menos costosas, y casi igualmente efectivas para inspecciones rutinarias, son las fuentes de luz que emiten diferentes líneas del espectro. Estas fuentes incluyen a las lámparas de mercurio, de sodio y de descarga de vapor. Tales fuentes de luz pueden ser usadas en combinación con vidrio, filtros de líquido o gas, o con filtros de interferencia de alta eficiencia, para transmitir solamente radiación de una longitud de onda específica.

El “estroboscopio” es un accesorio que utiliza pulsos sincronizados de luz de alta intensidad, que permite la observación de objetos moviéndose rápidamente, con un movimiento periódico. Un estroboscopio puede ser utilizado para observación directa de un objeto aparentemente quieto o para exposición de fotografías.

Detección de la luz y registro

Una vez que la luz ha interactuado con la pieza inspeccionada (siendo absorbida, reflejada o refractada), las ondas de luz resultantes son consideradas como las señales de la inspección que pueden ser registradas visualmente o fotoeléctricamente. Tales señales pueden ser detectadas por medio de celdas fotoeléctricas, foto multiplicadores o sistemas de circuito cerrado de televisión. En muchas ocasiones son usados accesorios electrónicos de imagen, para los rangos invisibles del espectro electromagnético (rayos “X”, infrarrojos o ultravioleta), pero también pueden ser usados para transmitir datos visuales de zonas riesgosas o donde se localicen obstrucciones.

En ocasiones, se realizan registros fotográficos. Las placas fotográficas procesadas pueden ser evaluadas visualmente o fotoeléctricamente. Algunas aplicaciones tienen la ventaja, por la habilidad de la película fotográfica, para integrar señales de baja energía sobre periodos largos de tiempo. La película fotográfica puede seleccionarse para cumplir con condiciones específicas de la inspección como sensibilidad y velocidad.

1.3 Antecedentes históricos

La inspección visual fue el primer método de Pruebas no Destructivas empleado por el hombre. Hoy en día, la inspección visual se encuentra entre los principales procedimientos de inspección para detectar y evaluar discontinuidades. Desde sus orígenes, se ha desarrollado una variedad de técnicas difíciles y complejas, además de realizar variadas investigaciones de óptica.

Desarrollo del boroscopio

Los accesorios que son utilizados para observar el interior de objetos son llamados “endoscopios”, que viene de las palabras Griegas “ver el interior”. En la actualidad el término “endoscopio” se aplica a instrumentos médicos. Los endoscopios industriales son llamados “boroscopios”, porque originalmente fueron utilizados en aperturas de máquinas y huecos tales como los cañones de armas.

En 1806, Philipp Bozzini de Frankfurt anuncia el invento de su “Lichtleiter” (palabra en Alemán para “luz guiada”), que fue utilizado para rastreos médicos. Este accesorio es considerado como el primer endoscopio.

En 1876, se desarrolla el primer cistoscopio práctico, para observar la vejiga humana. Dos años después, Edison introduce una luz incandescente. Los cistoscopios contenían lentes simples, que fueron reemplazados rápidamente. En 1900 Reinhold Wappler revoluciona el sistema óptico y produce el primer modelo en Estados Unidos. Más tarde, fue introducido el sistema de observación lateral, que tuvo gran utilidad en aplicaciones médicas e industriales. También, fueron desarrollados los sistemas de visión directa y retrospectiva para utilizarse con el cistoscopio. Los boroscopios e instrumentos para Pruebas no Destructivas tienen el mismo diseño básico utilizado en los cistoscopios.

En 1921, en Estados Unidos, la Compañía Westinghouse encomienda a George Crampton desarrollar un accesorio que pudiera utilizarse para observar discontinuidades dentro del rotor de una turbina de vapor.

En 1932, se fabrica el gastroscopio flexible, originalmente considerado para observar el interior de las paredes del estómago. El instrumento consistía de una sección rígida y una flexible. Los boroscopios flexibles para uso industrial han sido construidos más resistentes, para uso rudo, por ejemplo, tienen tubos flexibles de acero, en lugar de hule, en el tubo exterior de la porción flexible.



1.4 Aplicaciones

La inspección visual es el primer paso de cualquier evaluación. En general, las Pruebas no Destructivas establecen como requisito previo realizar una inspección visual, normalmente lo primero que decimos es “déjame ver como está (la apariencia de un objeto)”.

Para muchos objetos, la inspección visual es utilizada para determinar:

- Cantidad
- Tamaño
- Forma o configuración
- Acabado superficial
- Reflectividad (reflexión)
- Características de color
- Ajuste
- Características funcionales
- La presencia de discontinuidades superficiales

En general, las inspecciones visuales son utilizadas para dos propósitos:

- 1) La inspección de superficies expuestas o accesibles de objetos opacos (incluyendo la mayoría de ensamblajes parciales o productos terminados)
- 2) La inspección del interior de objetos transparentes (tales como vidrio, cuarzo, algunos plásticos, líquidos y gases).

La industria de la energía, petroquímica, transporte y de infraestructura, donde existen ambientes corrosivos, temperatura o donde es contenida presión, requieren comprobaciones visuales.

1.5 Ventajas

Las principales ventajas de la inspección visual y óptica son:

- Casi todo puede ser inspeccionado, en cierto grado,
- Puede ser de muy bajo costo,
- Se puede recurrir a equipo relativamente simple,
- Se requiere un mínimo de entrenamiento,
- Amplio alcance en usos y en beneficios.

1.6 Limitaciones

Las principales limitaciones de la inspección visual y óptica son:

- Solamente pueden ser evaluadas las condiciones superficiales,
- Se requiere una fuente efectiva de iluminación,
- Es necesario el acceso a la superficie que requiere ser inspeccionada.

1.7 Visión

Tenemos conocimiento del medio que nos rodea especialmente a través de nuestro sentido de la vista, aún cuando mucha información nos llega mediante los otros sentidos. Son numerosos los fenómenos, relacionados con la luz, que suceden a nuestro alrededor y que la mayoría de personas, por considerarlas de común ocurrencia, no se preocupa por explicárselos e interpretarlos debidamente.

¿Se ha preguntado? ¿A qué se debe la diferencia de colores en los objetos? ¿Cómo se explica la formación del arco iris? ¿Por qué con un microscopio se observan objetos que a simple vista no vemos? ¿Por qué por medio de telescopios se pueden observar algunos cuerpos celestes, que no obstante su gran tamaño no podemos ver directamente por encontrarse situados a millones de kilómetros de nosotros? ¿Cuál es la naturaleza de la luz y cómo se propaga?

Cuando se estudian algunos aspectos relacionados directamente con la luz, muchas de estas y otras interrogantes pueden ser resueltas.

a. La fisiología de la vista

Recolección visual de datos

El proceso visual humano ocurre en dos pasos:

1. Primero es el procesado del campo visual completo. Esta es una función típicamente automática del cerebro, en ocasiones llamada "proceso de atención previa".
2. En segundo lugar, se enfoca hacia un objeto específico dentro del campo visual procesado.

Algunos estudios realizados indican que la separación que se hace de artículos específicos dentro del campo visual general es el fundamento del proceso de identificación.

Con base en lo anterior, se considera que varios patrones de luz que llegan a los ojos se simplifican y codifican como líneas, puntos, extremos, sombras, colores, orientaciones y posiciones referenciadas dentro del campo visual completo. El primer paso en el proceso de identificación es la comparación de los datos visuales con los datos recolectados previamente por la memoria. Se ha sugerido que este procedimiento de comparación es una causa psicológica del "déjame ver", el sentimiento de haber visto algo antes.

Los datos acumulados son procesados a través de una serie de sistemas específicos. Algunos de nuestros sensores de luz reciben y responden solamente a ciertos estímulos y transmiten sus datos a ciertas áreas particulares del cerebro. Un tipo de sensores acepta datos sobre líneas y extremos; otros procesan solamente direcciones de movimiento o color. El procesado de estos datos discrimina entre vistas complejas diferentes analizando sus diferentes componentes

Diferenciación dentro del campo visual

Los objetos similares son difíciles de identificar individualmente. Durante el proceso de atención previa, los objetos particulares que comparten propiedades comunes tales como longitud, ancho, espesor u orientación no son lo bastante diferentes como para resaltar. Si las diferencias entre un objeto y el campo general son marcadas, entonces el inspector requiere poco conocimiento de lo que debe ser identificado. Pero, cuando el objeto es similar al campo general, el inspector necesita más detalles específicos del objeto. Además, el tiempo requerido para detectar una característica se incrementa en forma lineal con el número de objetos similares dentro del campo.

La diferenciación de colores es más difícil cuando hay colores diferentes en objetos de forma similar. El reconocimiento de geometrías similares tiende a sobreponerse a las diferencias de color, aún cuando los colores son el objeto de interés.

Además, en un grupo de formas y colores diferentes, donde no hay una forma dominante, una forma particular puede ocultarse dentro de la variedad en el campo visual. Sin embargo, si la forma particular contiene una mayor variación en el color, entonces será muy evidente.

Búsqueda dentro del campo visual

Las diferencias entre realizar una búsqueda para detectar una sola característica y una búsqueda para detectar conjuntos o combinaciones de características puede tener complicaciones. Por ejemplo, el

inspector puede requerir más tiempo para verificar un componente manufacturado cuando los posibles errores son caracterizados por combinaciones de propiedades no deseadas, y podría tomarse menos tiempo para la inspección visual, si los errores de manufactura siempre producen un cambio en una sola propiedad.

Otro aspecto de una búsqueda en el campo visual está dirigido a la ausencia de características. Es más fácil localizar la presencia de una característica que su ausencia. Se ha determinado que la habilidad para distinguir diferencias en intensidad es más exacta al reducir la intensidad dentro del campo.

b Percepción visual

La percepción visual es el estudio de *“cómo la mente humana interpreta la información proporcionada visualmente, con la que se forma una impresión”*. Es la interpretación de la información transmitida desde la retina hasta el cerebro.

La percepción visual involucra:

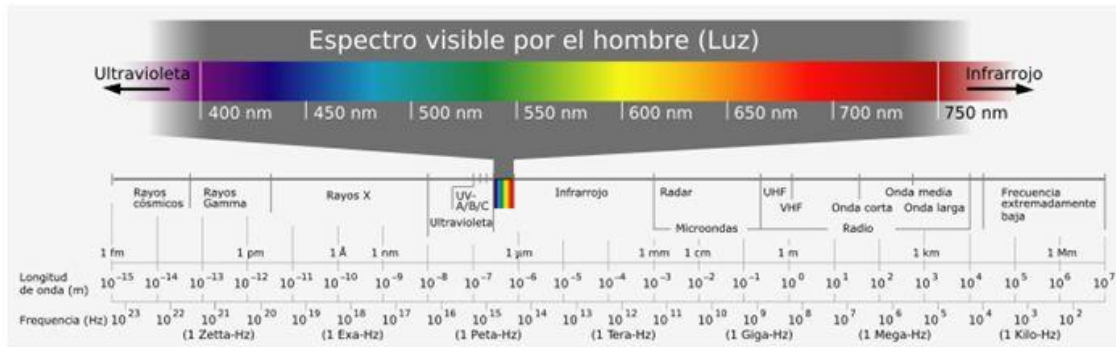
- Reconocimiento de la presencia de algo (objeto, abertura o medio)
- Identificación
- Localización en el espacio
- Relación con otras cosas
- Identificación de movimiento, color, brillantez o forma

El proceso perceptivo incluye factores ambientales, fisiológicos y psicológicos, lo que es importante durante la inspección cuando la realidad física es diferente de la percepción. Por lo que, los métodos de inspección *“deben diseñarse para minimizar los efectos de los factores que lleven a decisiones incorrectas”*.

Algunos errores de percepción se deben a la fatiga, enfermedad, desordenes ópticos o falta de entrenamiento; la mayoría de los errores que se presentan en la percepción están relacionados con una mala interpretación de los indicios visuales.

1.8 Fundamentos de la luz

En la inspección visual y óptica, el fenómeno físico usado es la luz, que se encuentra en la porción del espectro electromagnético, con frecuencias entre 370 y 770 nm (nanómetros), que es capaz de excitar la retina humana.



Históricamente, han sido propuestas las siguientes teorías para describir la naturaleza de la luz:

1. La teoría corpuscular propuesta por Isaac Newton
2. La teoría ondulatoria propuesta por Christian Huygens
3. La teoría electromagnética propuesta por James Clerk Maxwell
4. La teoría cuántica propuesta por Max Planck

La teoría electromagnética proporciona la descripción más funcional de la luz para propósitos de Pruebas no Destructivas, y la teoría cuántica es la segunda comúnmente utilizada.

El color de la luz, figura No. 1, está determinado por su longitud de onda. Un color del espectro es monocromático, y consiste de la luz con un rango específico de valores de longitud de onda. La mayoría de las fuentes de luz no son monocromáticas, esto significa que están compuestas por una variedad de longitudes de onda.

Las variaciones en la longitud de onda de la luz son vistas por el ojo como el "color". El ojo es más sensible a ciertos colores que otros. La respuesta del ojo alcanza el máximo a aproximadamente la parte media de su banda de respuesta, sobre 550nm, cerca del verde espectral. La luz blanca contiene todos los colores del espectro.

El color puede ser descrito por tres propiedades que pueden medirse:

- brillo.- El brillo significa que el color puede tener un rango desde claro hasta oscuro; un observador ve como se emite, con más o menos luz.
- matiz (tono).- El matiz es lo que comúnmente se describe como color y depende de las longitudes de onda de la luz reflejada.
- saturación (pureza). La saturación es la medición de la distancia desde el blanco o neutro y hasta el color correspondiente (su pureza) y se describe como un color vivo o pálido, también referido como la fuerza o intensidad del color.

a Tipos de luz

Las fuentes de luz para inspección visual y óptica pueden dividirse en:

Luz incandescente – Es la emisión de luz por la excitación térmica de los átomos o moléculas. Las fuentes de luz incluyen lámparas de filamento, de mantos de gas, piro luminiscentes y de arco de carbón.

Luz luminiscente – Resulta de la excitación de un electrón de valencia simple. Es más monocromática que la luz incandescente. Las fuentes de luz incluyen las lámparas de descarga de gas, láser, diodos emisores de luz (LED) y fluorescentes.

Luz polarizada – La polarización es un fenómeno por el cual un rayo de luz que es alterado al atravesar un medio o al ser reflejado por una superficie, en lugar de vibrar en todas direcciones en torno de su trayectoria, solo lo hace en direcciones privilegiadas paralelas al plano llamado plano de polarización.

Luz coherente – Es luz visible o energía radiante con un alto grado de coherencia de fase, mientras la luz producida por la mayoría de fuentes tiene un espectro ancho y producen un área iluminada divergente, la luz láser o en fase es alineada.



b. Propiedades de la luz

Las principales propiedades de la luz incluyen a la longitud de onda, la frecuencia, la velocidad, la reflexión y la refracción. Longitud de onda, frecuencia y velocidad

Reflexión y refracción

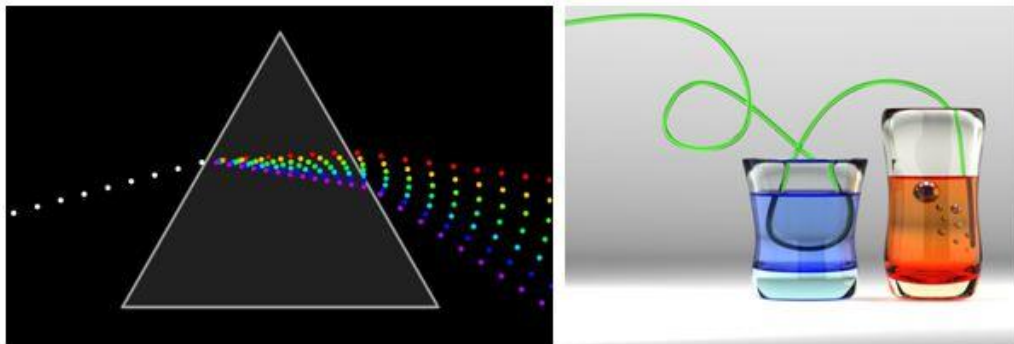
La diferencia en el tiempo que le toma a la luz viajar en diferentes medios es responsable de varios principios usados en instrumentos de óptica. La luz es reflejada cuando choca contra una superficie, la dirección del haz reflejado se determina construyendo una línea perpendicular a la superficie reflectora. El ángulo de reflexión es el mismo que el de incidencia, tomando como referencia la perpendicular a la superficie, o la línea normal.

La reflexión difusa es causada cuando la luz choca contra una superficie irregular, una superficie rugosa tiene muchos planos superficiales diferentes, por lo que cada haz de luz que incide choca con un plano reflector diferente y es reflejado con un ángulo relativo al plano de la superficie.



La refracción es el cambio de dirección de la luz al pasar a través de dos medios diferentes; la refracción depende del ángulo de incidencia de la luz y el índice de refracción.

El índice de refracción está dado por la relación de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio



La luz es enfocada con espejos y lentes de accesorios de óptica, usando los principios de reflexión y refracción, que son considerados e integrados durante la construcción de los accesorios.

c Medición de la luz

La “*radiometría*” es la medición de la energía radiante del espectro electromagnético, incluyendo la luz visible, y la medición de las propiedades de la luz por comparación visual es conocida como “*fotometría*”.

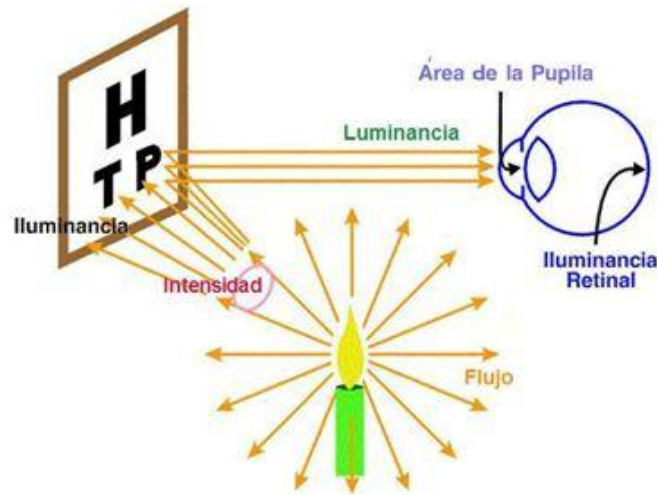
El accesorio fotométrico más común es el ojo humano. Los principios de radiometría y fotometría son los mismos, pero las unidades de medición son diferentes. Las características de la luz, las fuentes de luz y de iluminación consideradas en la inspección visual y óptica son las siguientes:

Flujo luminoso: Es la relación del flujo de luz, y se mide en “Lumen” (lm).

Iluminancia: Es la densidad de flujo luminoso sobre un área dada de superficie en un instante dado. Es la

Medición de la luz fuera de un cuerpo luminoso. Las unidades son los “Lux” (lx) o “pies-candela” (ftc) (1 pie-candela = 10.86 lux).

Luminancia: Es la medición del flujo luminoso en una superficie dada considerando el ángulo de incidencia o de refracción, puede ser saliendo, pasando a través o llegando a la superficie. Es referida como brillantez fotométrica y se mide en cd/m² (candela/metro cuadrado) o "Lambert".



Ley de fotometría

La ley del inverso cuadrado establece que la iluminancia (E), de un punto sobre una superficie, es proporcional a la intensidad luminosa (I), de la fuente de luz, e inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia (d), entre el punto y la fuente. Matemáticamente esta ley se expresa:

La ley del inverso cuadrado establece que la iluminancia (E), de un punto sobre una superficie, es proporcional a la intensidad luminosa (I), de la fuente de luz, e inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia (d), entre el punto y la fuente. Matemáticamente esta ley se expresa:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

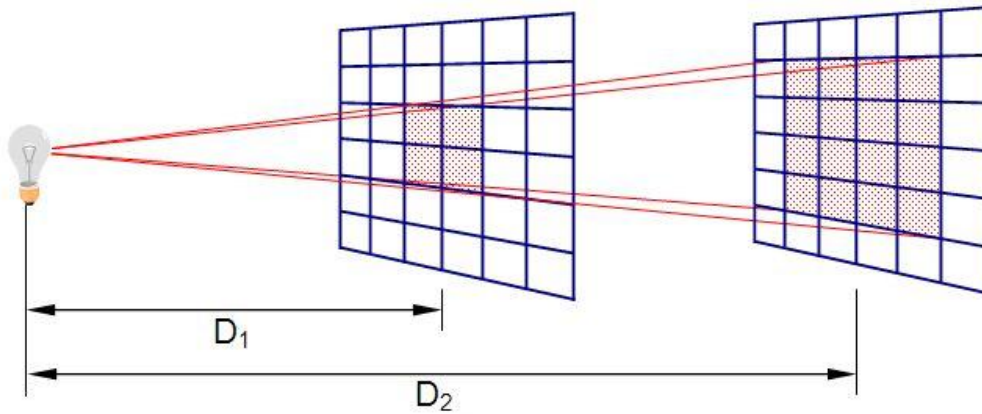
Donde:

I = Fuente de iluminancia

E = Superficie de iluminancia

d = Distancia entre la fuente y la superficie de iluminancia

La ley del inverso cuadrado establece que la iluminancia (E), de un punto sobre una superficie, es proporcional a la intensidad luminosa (I), de la fuente de luz, e inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia (d), entre el punto y la fuente.



Fotómetros

La fotometría es la medición y comparación de las propiedades de la luz, con respecto a la respuesta del ojo humano. Todos los fotómetros deberían medir o ser corregidos para que midan energía radiante en el espectro de luz visible con la misma respuesta del ojo humano. Los fotómetros se clasifican de acuerdo con la característica que puede medir, lo que incluye la medición de flujo luminoso, iluminancia, luminancia, color, reflectancia y transmisión.

Los fotómetros para medir iluminancia, comúnmente utilizados en la industria, son los instrumentos fotoeléctricos.



d. Intensidad de luz

Para realizar una inspección visual debe haber una fuente de luz natural o artificial adecuada en intensidad y distribución espectral, con el fin de proporcionar un contraste adecuado sobre el área

inspeccionada para que la detección de objetos relevantes o discontinuidades se cumpla con un alto grado de éxito. La detección de contraste es la más básica de las tareas visuales, es la diferencia en luminancia o color entre un objeto y el fondo.

La calidad de luz o iluminación en el área de inspección se refiere a la distribución de las fuentes de luz en el área, implica que estas ayudas visuales sean funcionales y confortables. La calidad de iluminación se compone por la luz de área y la luz específica para la inspección.

Bajo condiciones óptimas, el ojo humano puede ser estimulado por una pequeña parte del espectro electromagnético. Los límites de la porción visible están definidos, dependiendo de la cantidad de energía disponible, su longitud de onda y la salud del ojo. Para propósitos más prácticos, el espectro visible puede considerarse entre 380 nm y 770 nm; sin embargo, con fuentes especialmente intensas y con un ojo completamente adaptado a la oscuridad, el límite de longitudes de onda más pequeñas puede extenderse debajo de 350 nm o aún más abajo, con una reducción correspondiente en la longitud de onda más larga percibida. Similarmente, con una fuente especialmente intensa de longitud de onda más larga y un ojo adaptado a un nivel mayor de luz, el límite de la longitud de onda más larga puede extenderse por encima de 900 nm.

La brillantez es un factor importante en los medios ambientes de prueba visual. La brillantez de una superficie de prueba depende de su reflectividad y la intensidad de la luz incidente. La brillantez excesiva o insuficiente interfiere con la habilidad de ver claramente y puede obstruir la observación crítica y el juicio. Por esta razón la intensidad de la luz debe estar bien controlada. Un mínimo de intensidad de iluminación de 160 lx (15 ftc) debe usarse para la prueba visual en general. Un mínimo de 500 lx (50 ftc) debe usarse para pruebas críticas o para detalles finos. De acuerdo con la Sociedad de Ingeniería de Iluminación, la prueba visual requiere luz en un rango de 1,100 a 3,200 lx (100 a 300 ftc) para trabajos críticos.

Puede usarse un medidor de luz comercialmente disponible para determinar si el medio ambiente de trabajo cumple con este estándar.

De acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), se requiere iluminación (natural o luz blanca suplementaria) de la parte específica, componente, recipiente o la sección que será examinada. La intensidad mínima de luz sobre la superficie o sitio del examen debe ser de 100 pies-candela (1000 lux). La fuente de luz, la técnica usada y la verificación del nivel de luz requieren ser demostrados una vez, documentarse y mantenerse en archivo.

1.9 El ojo humano

a. Características básicas del ojo humano

El instrumento óptico más comúnmente utilizado en sistemas de inspección visual y óptica es el ojo humano. El ojo es un instrumento óptico que cuenta con una variedad de ajustes automáticos, que le permiten adaptarse y proporcionar una visión definida, aún variando la distancia y a través de un rango de intensidades de iluminación.

El ojo puede ser comparado con un detector de radiación, realiza un análisis de frecuencias y mide cantidad y dirección. La luz es invisible hasta que encuentra un objeto y se refleja hacia los ojos. Los componentes del ojo humano, con sus funciones principales para la visión, pueden ser comparados con las partes de una cámara.

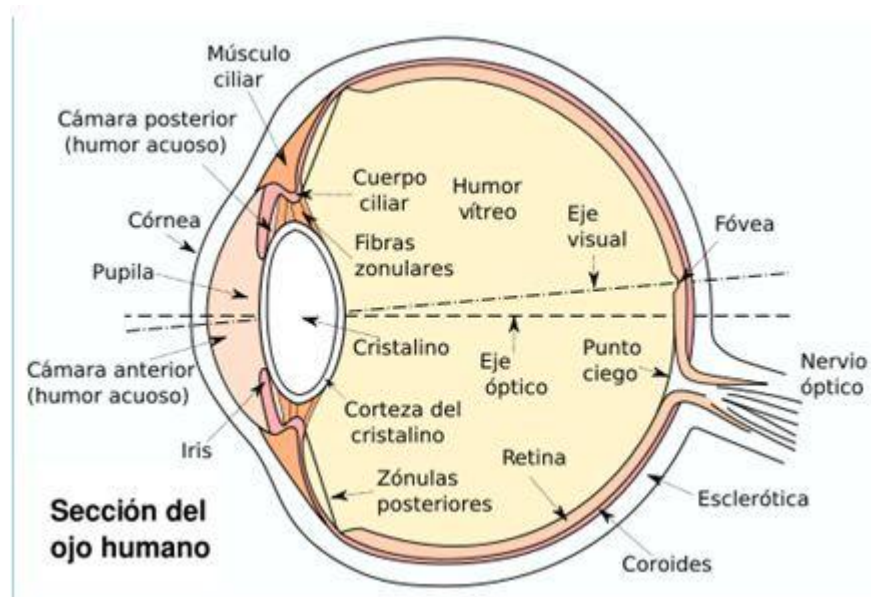
La habilidad del ojo para adaptarse a las diferentes condiciones de la luz se debe a la operación de la pupila y el iris. La pupila es la abertura central del ojo, la cual es contraída y dilatada por el iris, para modular la cantidad de luz que llega a la retina. La pupila también corrige algunas de las aberraciones cromáticas y esféricas de la retina e incrementa la profundidad de campo. El iris consiste de una cortina circular delgada y un par de músculos, los cuales expanden y contraen la abertura de la pupila. La función del iris es comparable a la del diafragma de una cámara.

En gran parte, la habilidad del ojo para enfocar es proporcionada por la cornea y el lente cristalino, con poca ayuda de la pupila y los índices refractivos del humor vítreo y el humor acuoso. La cornea cubre al iris y la pupila, y proporciona cerca del 70% de la habilidad refractiva del ojo. El lente cristalino es responsable del ajuste del foco, para que se pueda mantener una imagen definida sobre la retina conforme cambia la distancia entre el ojo y el objeto que está siendo observado. Por el proceso conocido como "acomodación" el lente cristalino se relaja y se adelgaza para la observación lejana, y se hace grueso para la observación cercana. Esto puede ser comparado con el movimiento de los lentes para enfocar en una cámara.

Dentro del ojo, la imagen adquirida se enfoca sobre una capa sensible llamada "retina". La retina es una membrana nerviosa delicada, localizada en la parte posterior del ojo, la cual, está compuesta por una gran cantidad de elementos individuales, los conos (cones) y las varillas (rods), cada uno de los cuales reacciona con la luz como una célula minúscula fotosensible, convirtiendo la luz en señales eléctricas.

Cada elemento está conectado al cerebro por una fibra individual del nervio óptico y es capaz de tener una acción independiente. Este nervio es comparado con un grupo de cables coaxiales. Cada célula del nervio óptico transmite información desde las células individuales y forma una imagen espontánea del objeto visto. Entonces, los conos y la varillas son los receptores visuales.

Las varillas son mucho más numerosas que los conos y con tiempo suficiente responden a intensidades muy bajas de luz por lo que son las encargadas de crear la visión en estas condiciones, se encuentran localizadas en la parte externa de la retina. Los conos se concentran en la fovea central, donde prácticamente no existen varillas. Existen tres tipos de conos caracterizados por su sensibilidad a una longitud de onda específica, correspondientes al azul, verde y amarillo. La fovea central es la región del ojo que tiene la importancia primaria para determinar la agudeza visual y la visión del color. La retina es comparable con la película o el medio de registro en una cámara.



Los límites de la visión son:

- **Intensidad de umbral** – Es el nivel más bajo de brillo que el ojo puede ver, y depende de la exposición reciente a la luz.
- **Contraste** – Es la diferencia en el grado de brillo, el ojo es sensible al porcentaje en lugar de los cambios absolutos de brillo.
- **Ángulo visual** – Es el valor del ángulo formado por los extremos del objeto que se está viendo, el ángulo más pequeño es el más difícil de ver.
- **Tiempo de umbral** – Es el tiempo mínimo que debe estar expuesta una imagen para que el ojo la vea, varía con el tamaño del objeto.

La fatiga del ojo se acelera por esfuerzos para ver con intensidades de luz en niveles muy bajos o muy altos, y por los esfuerzos para ver longitudes de onda de luz fuera del rango de frecuencia óptima.

Visión estereoscópica

La visión estereoscópica proporciona la habilidad para distinguir la profundidad entre objetos. La visión estereoscópica se debe a la distancia lateral entre los dos ojos, la cual provoca que los ojos vean los

objetos con un ángulo ligeramente diferente. La percepción humana de la profundidad se mide sobre una base porcentual conocida como "porcentaje de estereopsis". Los accesorios visuales y de óptica, tales como los binoculares, incrementan la estereopsis. Los accesorios monoculares, tales como los microscopios, boroscopios, etc., quitan toda la sensación de percepción de profundidad.

b Agudeza visual

La agudeza visual es la habilidad del ojo para distinguir o diferenciar pequeños detalles, depende de la concentración de conos en la fovea central.

La agudeza visual se puede apreciar utilizando dos líneas negras gruesas separadas por una línea blanca.



Conforme se incrementa la distancia desde el ojo hasta la figura, la línea blanca desaparece gradualmente hasta que la figura se convierte en una línea negra gruesa. El efecto se ilustra similarmente por la combinación de los puntos en una fotografía de periódico.

Existe una relación entre la distancia de observación y el tamaño mínimo del objeto visible para el ojo humano promedio, el ojo "normal" puede distinguir un elemento que cae dentro de un ángulo de 1/60 de 1 grado.



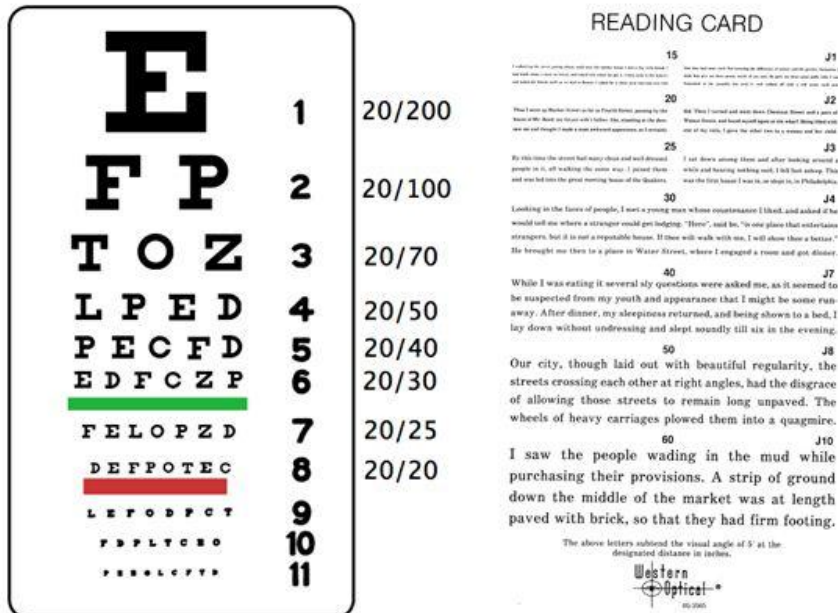
Estudios realizados en audiencias de observación han mostrado que cuando la distancia de observación es menor que cuatro o cinco veces la altura de la imagen, los ojos de los observadores se cansan extremadamente, esto se debe a que el ojo debe moverse excesivamente para cubrir el rango vertical completo de la imagen.

El ojo, el cerebro y el sistema nervioso son variables críticas en inspecciones visuales, esto se debe las variaciones que pueden existir. Por esta razón, los inspectores deben ser examinados para asegurar la agudeza visual natural o corregida. La frecuencia de tal examen la determina un código, especificación, estándar, práctica recomendada o políticas de compañía. Es común realizar los exámenes cada año.

La agudeza visual del inspector puede ser evaluada a distancia cercana y lejana. El examen visual de Snellen 20/20 se realiza a 6 m (20 pies) y es el más común para el examen de agudeza visual lejana. La carta Jaeger se usa ampliamente en los Estados Unidos para el examen de agudeza visual cercana, al personal se le puede requerir que lea, por ejemplo, las letras más pequeñas a una distancia de 30 cm (12 pulg.).

Si se establece la prescripción de lentes para aprobar el examen visual, entonces el individuo debe usarlos durante todos los exámenes visuales.

1.10 Condiciones que afectan la inspección visual



a. Atributos de las piezas que pueden afectar la inspección visual

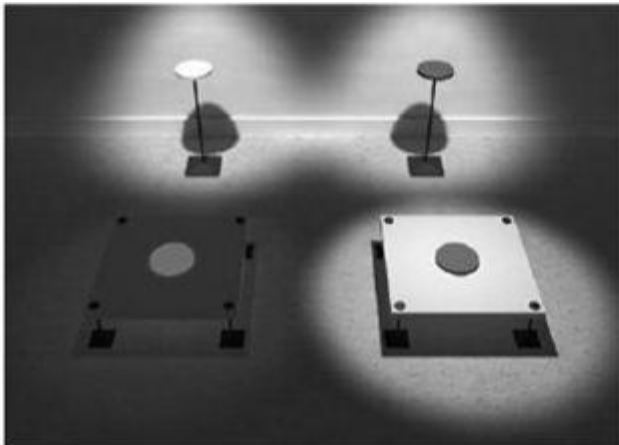
Limpieza.- Es un requisito básico para una buena inspección visual; es imposible obtener datos visuales a través de capas de suciedad; además, al obstruir la visión, la suciedad puede enmascarar discontinuidades presentes. La limpieza típicamente puede hacerse utilizando medios mecánicos o químicos, o ambos. La limpieza evita el riesgo que las discontinuidades no sean detectadas y mejora la satisfacción del cliente.



Cambios de color.- La evaluación del color y cambios de color es uno de los principios básicos de la mayoría de las inspecciones visuales. La corrosión u oxidación de metales o el deterioro de materiales orgánicos está frecuentemente acompañado por un cambio en el color, que puede ser imperceptible para el ojo.

Características de brillo (brillantez).- El contraste del brillo es considerado el factor más importante en la vista. El brillo de una superficie coloreada que refleja difusamente, depende de su factor de reflexión y de la cantidad de luz que incide. El brillo excesivo (o brillo dentro de un campo visual que varía por más de 10:1) causa una sensación no placentera llamada “*resplandor*”.

El resplandor directo o reflejado reduce la visibilidad y el desempeño visual, interfiere con la habilidad de la visión clara, la observación crítica y el buen juicio, puede ser un problema mayor que no sea fácil de corregir. El resplandor puede ser minimizado disminuyendo la cantidad de luz que llegue al ojo o puede evitarse utilizando luz polarizada u otros dispositivos polarizados.



Condición superficial.- La herrumbre, el pulido, fresado, lapeado, ataque químico, la limpieza con arena, granalla, etc., y las formas torneadas, todas son condiciones posibles de una superficie que afectan la habilidad de verla adecuadamente.

Forma o configuración de los objetos.- Diferentes ángulos de la superficie de un objeto, causan que sean reflejadas diferentes cantidades de luz hacia el ojo. La forma del objeto y su superficie determinan el ángulo en el que debe realizarse la inspección.

Tamaño del objeto inspeccionado.- Si el objeto es más grande que el haz de luz, será necesario iluminar en pasos múltiples.

Temperatura.- El calor excesivo obstruye la vista, esto se debe a la distorsión de la onda de calor. Por ejemplo, en un ambiente desértico o cuando existe agua en un recipiente reactor, ambas condiciones pueden producir distorsión debido a la onda de calor.

Textura y reflexión.- La visión depende de la luz reflejada que entra al ojo. La reflexión y la textura de la superficie son características relacionadas. La iluminación tiene como función muy importante acentuar un área de interés, pero no debe permitirse que exista resplandor, porque puede enmascarar la superficie inspeccionada. Una superficie altamente reflectora o una superficie con textura rugosa pueden requerir iluminación especial para iluminar sin enmascarar.

b. Factores ambientales

Las reflexiones y sombras de paredes, techo, muebles y equipo deben considerarse durante la inspección visual. Deben ocurrir reflexiones ambientales o la habitación podría ser muy oscura para que sea práctica.

Ciertos factores psicológicos también afectan el desempeño visual del inspector, se ha demostrado que los colores de las paredes y el diseño tienen un efecto en la actitud, lo que es importante cuando se inspeccionan componentes críticos o pequeños. Una actitud óptima del inspector es relajante pero no debe ser cansada, alerta pero no intranquila; para complementar las necesidades de iluminación, todos los colores en una habitación deben ser tonos claros, ya que hasta el 50% de la luz disponible puede ser absorbida por las paredes oscuras y el piso. Un contraste fuerte del diseño o color puede causar cansancio y eventualmente fatiga. Los colores fríos (azul) son recomendados para áreas de trabajo con altos niveles de ruido y esfuerzo físico excesivo.

c. Factores fisiológicos

Efectos de la fatiga

Ver no es la formación pasiva de una imagen, es un proceso activo en el cual el observador mantiene seguimiento a las acciones personales a través de alimentación informativa, por lo que las cosas

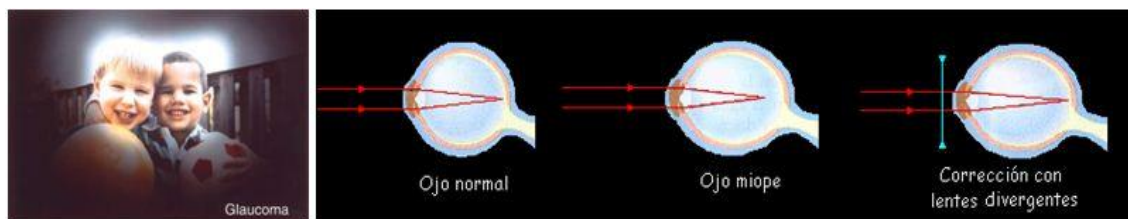
percibidas pueden ser alteradas por las acciones o condición física del observador; como sucede con todos los otros procesos que requieren participación activa, la fatiga reduce la eficiencia del observador para realizar una interpretación exacta del dato visual.

d. Efectos de la salud del observador

Existen condiciones anatómicas que afectan directa o indirectamente la habilidad del individuo para ver. Por ejemplo, el Glaucoma es una enfermedad caracterizada por el incremento de la tensión intraocular, puede causar un rango de deterioro en la visión, desde anomalías ligeras hasta la ceguera absoluta. En muchos casos, la causa del deterioro visual se desconoce y no es fácil descubrirlo, algunos problemas de percepción son efectos secundarios complementados por predisposición de herencia, estado emocional o factores circulatorios. En otros casos, el deterioro resulta de una enfermedad de la estructura ocular, incluyendo tumores intraoculares, cataratas propagadas o hemorragia intraocular.

Otras condiciones de salud son la hipermetropía (el lente cristalino se endurece con la edad y hace que pierda su habilidad para enfocar), la retinopatía diabética (deteriora la visión normal), la diabetes (lleva a cambios degenerativos del lente), las cataratas. La condición puede reducir la visión hasta mantener solamente una percepción ligera. En ocasiones.

El uso prolongado de iluminación defectuosa y una posición tensa siempre deben evitarse, también, es importante evitar la fatiga de los músculos de los ojos, particularmente cuando es causada por errores de refracción. La incapacidad para concentrarse en un objetivo y una oscilación rítmica del ojo y de las pestañas pueden ocurrir como resultado de la fatiga muscular del ojo, provocando inspecciones visuales que no sean efectivas. Los lentes correctivos y el descanso frecuentemente alivian formas simples de tensión del ojo.



Nubosidad, aumento de fotofobia, ojos muy acuosos, dolores en el globo ocular, quemaduras, suavidad en el globo ocular, un sentido de incomodidad en los ojos y una reacción de lentitud del iris son algunas señales que indican la necesidad de un análisis minucioso del ojo.

Para el inspector visual que no sabe que está mal, la etapa inicial del deterioro causa los mayores problemas. Debido a que el deterioro de la visión progresa lentamente, los individuos no son advertidos del problema hasta que afecta su desempeño, por lo que cualquiera que necesite cambios frecuentes de lentes correctivos, quien note disminución en su agudeza visual, que tenga leves dolores de cabeza, quien vea círculos alrededor de las fuentes de luz o quien no se adapta a la oscuridad, debe realizarse

un examen del ojo tan pronto como la condición sea detectada, esto es efectivo especialmente para individuos con más de 40 años.

e. Factores psicológicos

Diferentes observadores

La imagen de un objeto depende del observador. Los seres humanos difieren inherentemente en la velocidad, exactitud y certeza de ver, aún teniendo visión promedio o normal los individuos varían particularmente en las mediciones de umbral y en sus interpretaciones de sensaciones visuales. El estado psicológico, tensiones y emociones influyen en la apreciación de objetos e influyen en la ejecución de tareas visuales.

La importancia de la actitud de un inspector no puede ser sobre enfatizada. Debido a que muchas decisiones de inspecciones visuales involucran material marginal, las interpretaciones deben ser imparciales y consistentes, por lo que debería adoptarse y seguirse fielmente una política definida de procedimientos y estándares de inspección.

Actitud el observador

La representación completa del campo visual no está presente en el cerebro en ningún momento. El cerebro debe contener actividad electroquímica representando algunos aspectos fundamentales de una escena, pero tal imagen no corresponde a como el observador describe la escena, esto ocurre porque el observador añade experiencias y prejuicios que no son parte del campo visual, por lo que tal experiencia sensorial puede reflejar o no la realidad física.

Los datos que entran a través del ojo se transforman irrecuperablemente por sus contextos; una imagen en la retina se percibe diferente si su fondo o contexto cambian. Ninguna sensación simple corresponde únicamente al área original de excitación de la retina.

Tanto el contexto de un objeto observado como la intención del observador afectan la percepción.

El número de objetos visibles en una escena lejana excede la descripción típica de la misma, esto se debe a que está disponible una gran cantidad de información, inmediatamente después de verla, si un observador tiene la intención de buscar ciertos aspectos de una escena, solamente cierta información entra en la apreciación, aún con la imagen total retenida en la retina. Si una escena u objeto se ve una segunda vez, se pueden entender muchas características nuevas; Esta nueva información influye en la percepción del objeto, aunque tal información pueda no estar disponible al observador sin una segunda observación.

La naturaleza selectiva de la visión es aparente en muchas situaciones comunes, por ejemplo, un individuo puede caminar en una habitación llena de personas y ver efectivamente solo la cara de un

amigo esperado, y el mismo individuo puede caminar derecho hacia otro amigo sin reconocerlo, debido a la naturaleza inesperada del encuentro. La visión es fuertemente selectiva y casi completamente guiada por lo que el observador quiere y no quiere ver. Dentro de un campo visual más amplio, cualquier detalle adicional se refuerza paulatinamente por la observación sucesiva. Los detalles y la amplitud de la imagen son retenidos mientras sean necesarios y después son borrados rápidamente.

La imagen óptica en la retina cambia constantemente y se mueve conforme se mueva el ojo rápidamente de un punto a otro. La imagen mental es estacionaria para objetos estacionarios, independientemente del movimiento de la imagen o el movimiento de la cabeza del observador.

Si un observador no aplica la experiencia y el intelecto, es probable que la inspección visual sea inadecuada.

1.11 Métodos de inspección visual

La inspección (o examen) visual directo está delineada en el Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Pruebas no Destructivas, Artículo 9, y está definida como:

Examen Visual Directo

El examen visual directo usualmente puede hacerse cuando el acceso es suficiente para colocar el ojo dentro de 24 pulgadas (600 mm) de la superficie que será examinada y a un ángulo no menor de 30 grados de la superficie que será examinada. Los espejos podrán usarse para mejorar el ángulo de visión, y los auxiliares tales como los lentes amplificadores pueden ser usados para ayudar en los exámenes.

También está considerada la inspección (o examen) visual remota (o indirecta), estando definida como:

Examen Visual Remoto

En algunos casos, el examen visual remoto puede ser sustituto del examen visual directo. El examen visual remoto puede usar auxiliares visuales como espejos, telescopios, boroscopios, fibra óptica, cámaras u otros instrumentos adecuados. Tales sistemas deben tener una capacidad de resolución al menos equivalente a la que se obtiene por observación visual directa.

Los lentes de aumento se consideran como “ayudas o auxiliares”. El uso de un espejo para “mejorar el ángulo” también puede considerarse como una ayuda o auxiliar.

La lógica parece ser que cualquier instrumento o herramienta que evite una observación directa, por ejemplo, que el ojo se localice a una distancia mayor de 24 pulgadas (610mm) y a un ángulo menor que 30 grados se considera indirecto o remoto.

Incluir el uso de un espejo en las definiciones de directa e indirecta o remota permite interpretar la habilidad de “ver” el área de interés sin “auxiliares” o espejos. Lo anterior parece indicar que si el espejo es la única forma de inspeccionar visualmente el área de interés entonces es visual remota (indirecta). Inversamente, si el espejo resalta la observación y la inspección puede hacerse sin el “auxiliar” será considerada como inspección visual directa con un auxiliar.

Como un asunto práctico, la distancia, entre el ojo y la superficie inspeccionada, y el ángulo de observación, determinan la separación angular mínima de dos puntos que pueden resolverse (distinguirse por separado) por el ojo, esto se conoce como “*poder de resolución*” del ojo.

Para el promedio general del ojo humano, la mínima separación angular que puede resolver dos puntos en un objeto es cerca de un minuto de arco (ó 0.0167 grados), esto significa que a 300 mm (12”) de una superficie de prueba, la mejor resolución esperada es cerca de 0.09 mm (0.003”). En 600 mm (24”), la mejor resolución anticipada es cerca de 0.18 mm (0.007”).



Lentes, espejos, fuentes de luz, instrumentos de medición, calibradores, etc., son usados como herramientas auxiliares en la inspección visual directa.

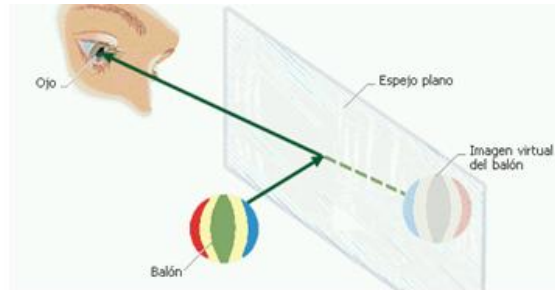
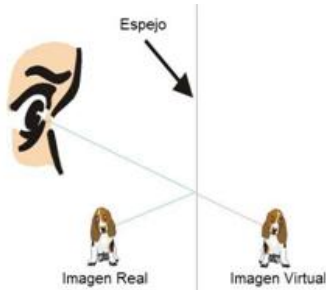
2 – Equipos para inspección visual

2.1 Ayudas ópticas

La óptica clásica explica la operación y manipulación de la luz por medio de accesorios o herramientas visuales que producen imágenes para observación humana, estos accesorios son: espejos, lentes y prismas.

1. Espejos

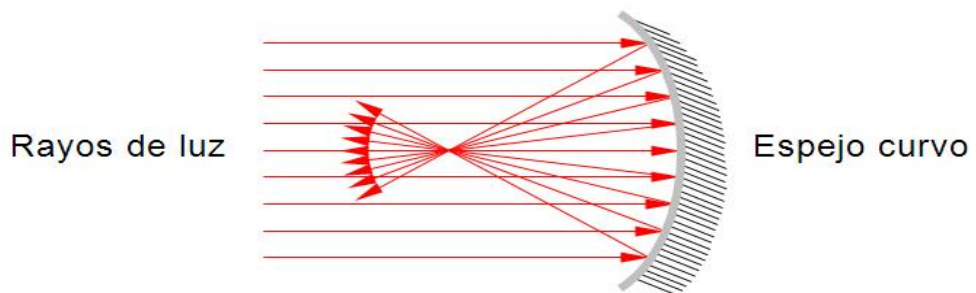
Los espejos cambian la dirección de la luz por reflexión, pueden ser planos, convexos, cóncavos o parabólicos. Los espejos planos pueden ser arreglados en forma simple o en serie, con el fin de transmitir una imagen o la luz.



Se considera que un espejo curvo está compuesto por un número infinito de espejos planos muy pequeños, y cada uno de ellos refleja un rayo de luz. Un espejo convexo proporciona un campo alargado de observación de la imagen reflejada. Un espejo cóncavo o esférico refleja hacia un punto focal.



Los espejos son invaluable para el inspector porque le permiten ver dentro de componentes como tubería, huecos barrenados y roscados, el interior de piezas fundidas y alrededor de esquinas.

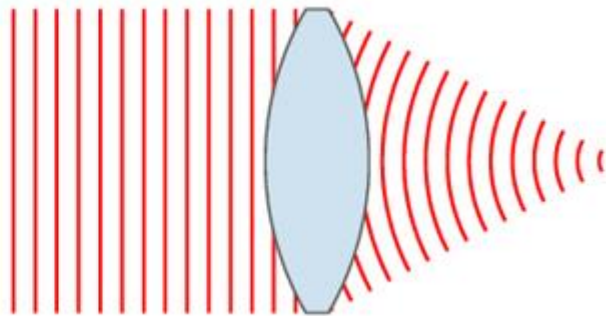


El espejo de dentista es una herramienta común en la mayoría del juego de herramientas del inspector, es un espejo circular pequeño que se encuentra inclinado y montado sobre un soporte. Los espejos con extremo móvil utilizan un pivote con un brazo de control, el cual le permite al inspector mover el espejo para barrer el área completa de interés.



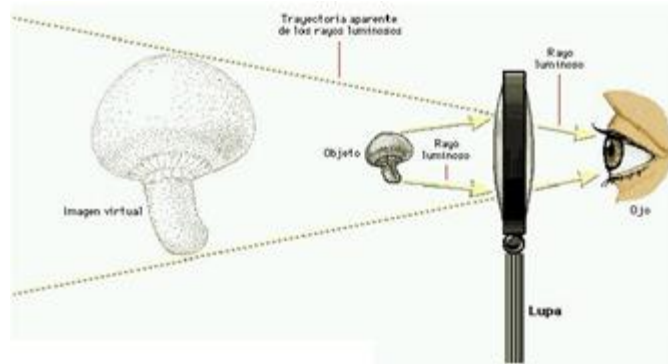
2 Lentes (amplificadores o magnificadores)

Un lente es un accesorio que converge o dispersa la luz por refracción.

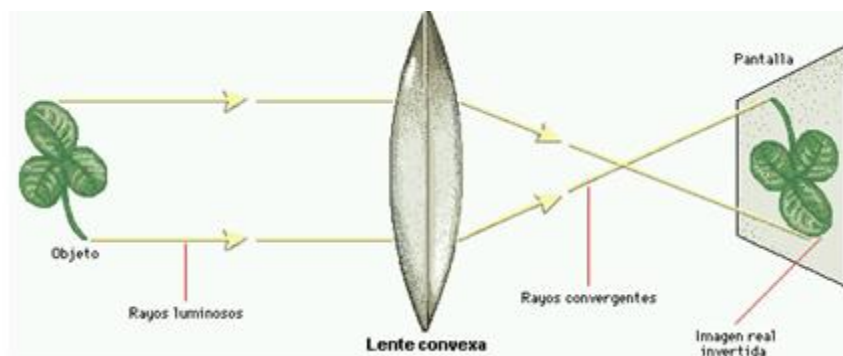


Dos conceptos de óptica relacionados con los lentes son:

- Poder de amplificación – Un objeto parece aumentar de tamaño al acerca al ojo. Para determinar el poder de amplificación de un lente, el tamaño verdadero de un objeto se considera cuando el ojo se encuentra colocado a una distancia de 10". El valor de 10" es un estándar, porque a esta distancia del ojo se coloca un objeto pequeño cuando es inspeccionado. La amplificación lineal se expresa en diámetros y la letra "X" es usada para designar el poder de amplificación de un lente, ejemplo 10X.



Longitud focal – La longitud focal o distancia focal de un lente es la distancia desde el plano principal del lente hasta el plano focal, lo que se describe de la siguiente forma: el foco principal o plano focal es la distancia desde un lente al punto en el cual los rayos paralelos de luz que llegan a uno de los lados del lente convergen, después de haber sido refractados hacia un foco sobre el lado opuesto. Para lentes de longitud focal corta la luz que procede de 30 a 40 pies se considera paralela; para un lente de mano, la longitud focal se determina cuando la luz que proviene de una ventana pase a través del lente y la imagen sea enfocada, del otro lado del lente en forma bien definida sobre una hoja de papel. La distancia del lente al papel será la distancia focal.



A una longitud focal más corta, mayor es el poder de magnificación, pero la distancia del ojo al lente debe ser la misma que la longitud focal. Por ejemplo, un lente con longitud focal de una pulgada, tiene un poder de magnificación de 10 (10X), esto es verdad si el lente se mantiene a una pulgada del objeto y el ojo se coloca a una pulgada de distancia del lente.

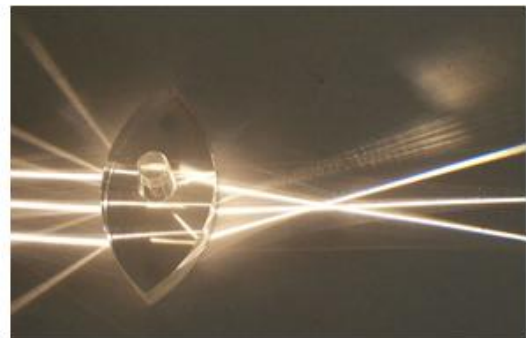
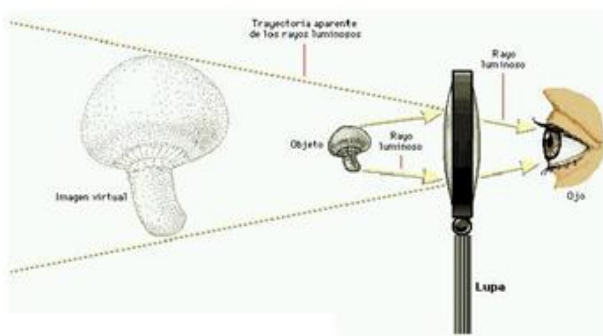
Una vez que se conoce la distancia focal, puede determinarse la magnificación del lente y viceversa, con la siguiente fórmula se determina el poder de magnificación:

$$\text{Poder de magnificación (lentes positivos)} = 10/\text{longitud focal (pulg.)}$$

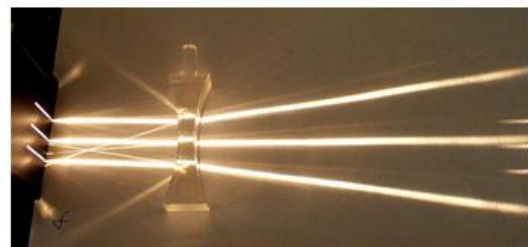
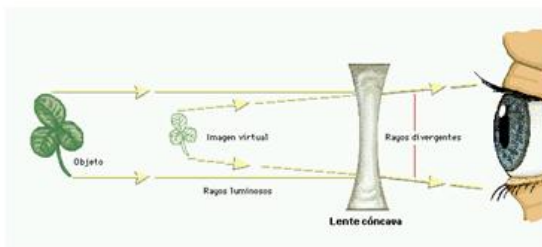
a. Tipos de lentes

Para describir los lentes, el método convencional es considerar la forma de su superficie, de izquierda a derecha, utilizando la siguiente terminología:

- Lentes planos – Describen superficies planas
- Lentes convexos – Son lentes convergentes porque enfocan la luz sobre un punto, son más gruesos en el centro que en los extremos (protuberantes hacia fuera).



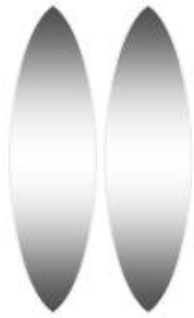
Lentes cóncavos – Son lentes divergentes porque dispersan la luz, son más delgadas en el centro que en los extremos (hundidos hacia adentro).



Doble Convexo Plano-Convexo Convexo-Cóncavo Doble Cóncavo Plano-Cóncavo

El tipo más común en el laboratorio, es el doble convexo, y los lentes plano-convexo son usados en proyectores y microscopios. Todos los otros lentes son usados en combinaciones; por ejemplo, los lentes compuestos son usados en la mayoría de sistemas ópticos, desde magnificadores dobles y triples hasta

sofisticados lentes de amplificación (zoom) usados en cámaras. Los lentes compuestos proporcionan alta magnificación y control cercano del plano focal.



Lentes combinados



Dobles

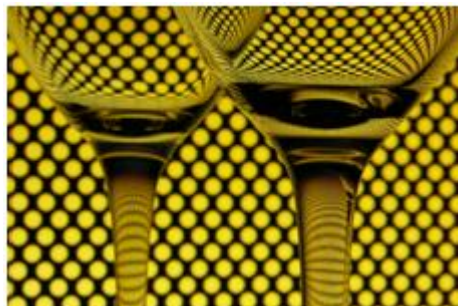


Triples

b. Fallas inherentes de los lentes

Existen tres diferentes fallas inherentes en todos los lentes, las que pueden corregirse. El grado de corrección determina la calidad del lente.

1.- Distorsión – La imagen no aparece natural. La calidad del material del lente y el grado de rectificado y pulido son las causas de y el medio para corregir este problema.



2.- Aberración esférica – Los rayos de luz pasan a través del centro del lente y en las orillas son enfocados hacia diferentes puntos (la distorsión es mayor en lentes de diámetros grandes, que en los pequeños), y esta falla se puede corregir por ligeras modificaciones de las superficies curvas.

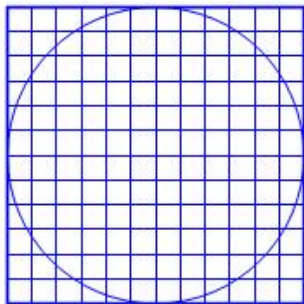


Imagen sin distorsión

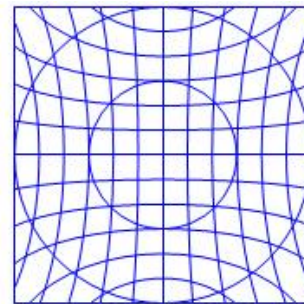
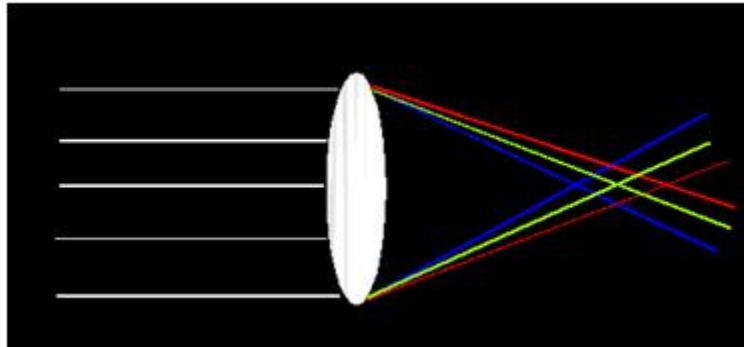


Imagen con distorsión

3.- Aberración cromática – Es un efecto de prisma. Cuando los rayos de luz se descomponen en diferentes colores, no son enfocados en el mismo plano. Esta falla ocurre como efecto lateral y longitudinal. Se corrige usando lentes compuestos de diferentes tipos de vidrios.



Debido a que un lente sencillo utiliza los mismos principios de difracción que un prisma, existe aberración cromática en ellos.

Cuando se diseñan adecuadamente, los lentes compuestos pueden corregir las aberraciones cromática y esférica inherentes a un lente sencillo. El factor limitante para los accesorios de magnificación es la “*profundidad de campo*”. Conforme la magnificación se incrementa, la distancia entre los picos y valles (de una superficie irregular), que se encuentran simultáneamente enfocados, disminuye; por ejemplo, a 100 magnificaciones la superficie inspeccionada debe ser plana y debe estar pulida, una variación de solo 0.001 de pulgada puede estar fuera del foco de definición.



Conforme el poder de magnificación de un sistema de lentes se incrementa:

Existen menos picos y valles en el foco al mismo tiempo

El área que se puede observar es más pequeña

La distancia desde el lente hasta el objeto es más pequeña (además, entre otros problemas, la

Lo anterior es una razón por la que los magnificadores comunes que proporcionan arriba de 20X, no son muy prácticos

Los magnificadores simples se encuentran en muchas variedades, y regularmente son desarrollados nuevos accesorios.

- Lentes portátiles manuales, sencillos y múltiples
- Microscopios de bolsillo
- Magnificadores con soporte
- Magnificadores que pueden sujetarse a la cabeza o que pueden ser usados como anteojos o en conjunto con anteojos
- Accesorios de magnificación con fuentes integradas de luz



Cuando se selecciona un magnificador simple, se consideran los siguientes lentes corregidos por su calidad:

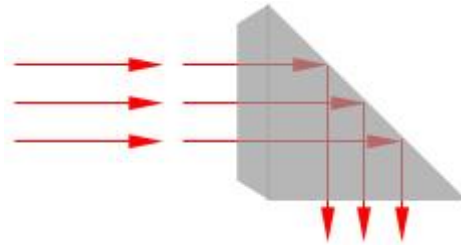
- Magnificador Coddington
- Magnificador doble plano-convexo
- Magnificador Hastings Triple

3 Prismas

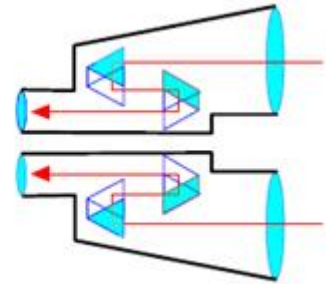
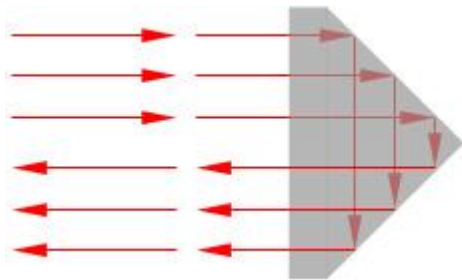
En la mayoría de superficies, la luz que incide es parcialmente reflejada y parcialmente refractada. Con un mayor ángulo de incidencia y mayor diferencia en los índices refractivos del material, la mayor cantidad de luz es reflejada en lugar de ser refractada. El ángulo arriba del cual toda la luz es reflejada, se conoce como el “*primer ángulo crítico*”. Los prismas utilizan el ángulo crítico para cambiar la dirección o la orientación de la imagen producida por los rayos de luz.

Los dos tipos comunes de prismas son:

- Prisma en ángulo recto – Desvía los rayos de luz a 90°



- Porro prisma – Produce una reflexión de 180°



Ambos tipos de prismas son comunes en instrumentos de óptica. También son usados para separar frecuencias de una fuente de luz, con base en la difracción. Como las superficies del prisma, que producen refracción, no son paralelas, la distancia que recorre la luz varía desde la parte superior a la parte inferior del prisma.

2.2 Iluminación

Iluminación general

Muy pocas áreas en interiores brindan suficiente luz para ejecutar una inspección visual apropiada. Las áreas con luz solar son excelentes para los exámenes generales, pero no es suficiente para examinar áreas internas de barrenos y hendiduras profundas.

La alta densidad de la luz fluorescente en el techo ofrece buena iluminación para la inspección en general. Para la iluminación general más específica, existen tres opciones:

1. Un pedestal portátil con una bombilla incandescente puntual o de inundación y un reflector, similar a los usados por los fotógrafos.
2. Dispositivos incandescentes de iluminación general con brazos giratorios.
3. Dispositivos fluorescentes de iluminación general con brazos giratorios.

Dispositivos específicos de iluminación

Los dispositivos específicos de iluminación son de alta intensidad y permiten que la luz sea concentrada en un sitio pequeño, las variedades más comunes son las incandescentes. Usualmente usan un transformador ajustable y uno o más diafragmas y se encuentran en cabezas ajustables.

Un problema con ellas es que se queman y sobrecalientan fácilmente, no tienen suficiente intensidad y tienden a producir una imagen del filamento de la bombilla sobre el objeto iluminado.

2.3 Medición dimensional

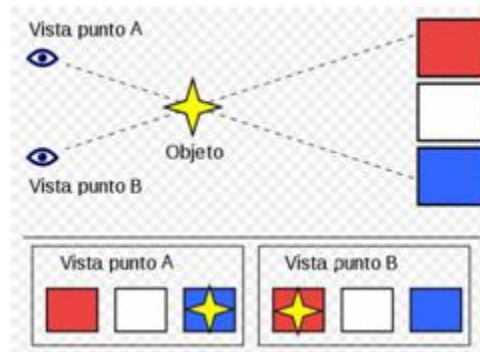
Las mediciones lineales describen longitud, altura, espesor o cualquier otra dimensión que pueda ser descrita como una distancia entre dos puntos, un punto y una línea, un punto y un plano, etc. Las mediciones lineales son las más simples y los requisitos de tolerancias, desempeño de la inspección, evaluación de la variación y el reporte de los resultados siempre se encuentran delineados en documentos de referencia.

El término “*resolución*” corresponde a la división más pequeña de la escala de un instrumento, lo que determina la cantidad mínima de variación a la cual será sensible el instrumento.

“*Exactitud*” es la condición de cumplir con un estándar conocido. La “*exactitud*” de un instrumento de medición define la extensión con la cual el promedio de varias mediciones cumple con el valor real. Generalmente, los instrumentos de medición deberían tener una exactitud de un cuarto de la tolerancia de la característica que está siendo medida, aunque se prefiere una relación de exactitud de 10:1. La relación más común, y más violada, entre resolución y exactitud, es que la exactitud sea de dos veces la resolución.

Los errores más comunes al realizar mediciones se deben a:

- Desgaste sobre la superficie de medición – Todos los instrumentos de medición por contacto directo están sujetos a desgaste sobre la superficie de medición, por lo que periódicamente deberían ser inspeccionados para verificar su planicidad y deberían ser reemplazadas o acondicionadas cuando se considere necesario y al error por paralaje.
- Error por paralaje – Se debe al aparente desplazamiento de un objeto, debido al cambio en el ángulo de inspección, desde una posición normal hacia el objeto que está siendo inspeccionado. El error de paralaje es evidente cuando se tratan de alinear dos superficies paralelas o intersecciones de superficies, cuando la posición de observación es con un cierto ángulo de inclinación; esto es muy notable cuando se utiliza una regla o se trata de interpolar una escala vernier.
-



2.4 Dispositivos de medición

Los dispositivos de medición son considerados parte de la inspección visual porque son usados para registrar resultados de la inspección.

A través de los años, la ciencia de la medición, llamada “*metrología*”, ha sido mejorada. La inspección visual incluye verificar si los artículos cumplen con de dimensiones especificadas. Los dibujos y especificaciones proporcionan las dimensiones y tolerancias disponibles.

El dispositivo de medición que debe ser usado se elige por las tolerancias de diseño y la accesibilidad de la dimensión que debe medirse. Generalmente, las dimensiones con tolerancias en fracciones son medidas utilizando reglas de acero, mientras las dimensiones con tolerancias en décimas o milésimas, requieren mayor precisión. Existen numerosos tipos de instrumentos de medición disponibles que varían en el grado de precisión.

Los dispositivos de medición son numerosos, incluyendo muchos altamente especializados. Debido a esto, solamente los que se usan más comúnmente son mencionados.

a. Dispositivos de medición lineal

Las mediciones lineales involucran una sola dimensión en línea recta.

Ya que todos los instrumentos de medición lineal están diseñados con base en el sistema métrico o en el sistema inglés, y hasta que la transición sea universal al sistema métrico, se usan los dispositivos en ambos sistemas. Es necesario saber como leer y utilizar una regla antes de proceder con otras herramientas de medición.



Reglas de acero

Son esenciales y frecuentemente usadas en variedad de funciones; disponibles en estilos diferentes, comúnmente fabricadas de acero y son los instrumentos de medición más comunes. Las reglas de acero de 6" y 12" son las frecuentemente utilizadas. Las reglas de 6" están disponibles con varias escalas, algunas pueden sujetarse al bolsillo. Las escalas pueden encontrarse en el sistema métrico e inglés, o ambos en la misma regla, con subdivisiones tan pequeñas de hasta 0.01". También están disponibles con una escuadra ajustable de 90° en el borde, para verificar la rectitud. Existen cintas de acero, desde 6" y mayores de 100 pies, las cuales pueden ser esenciales para la inspección visual.



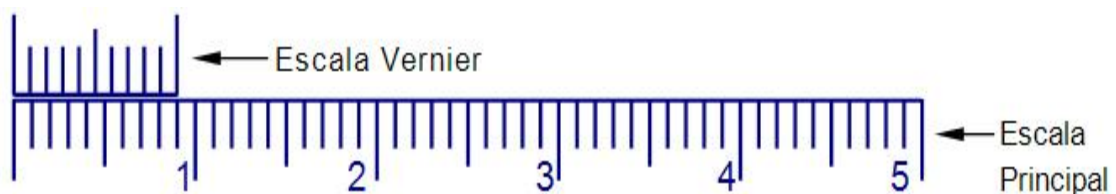
Escala vernier

Las reglas de acero son instrumentos de medición no precisos, pero existen instrumentos de precisión disponibles los cuales tienen la capacidad de medir en décimas o milésimas, con precisión de hasta 0.0001". Esto es posible por medio de un método simple para amplificar la escala lineal básica.

El sistema simple es la escala vernier, la cual es usado en varios instrumentos de medición como calibradores vernier, micrómetros vernier, vernier de alturas y calibradores de profundidades, vernier para dientes de engranes, y transportadores vernier; además, mucha maquinaria industrial utiliza el sistema vernier.

Debido a que la escala vernier es básica en variedad de instrumentos de precisión, el entendimiento completo es un requisito para las aplicaciones y manejo.

Un vernier es una combinación de dos escalas: una escala principal y una escala vernier; la escala principal puede estar dividida en centímetros o pulgadas, o ambas. El principio para el uso de ambas escalas es el mismo, es importante resaltar que el vernier es un instrumento decimal no fraccional, por lo que proporciona la capacidad de precisión.



Micrómetros

Los micrómetros son dispositivos mecánicos extremadamente precisos. Son comúnmente usados para medir centésimas de milímetro o milésimas de pulgada, pero también existen micrómetros con los que se puede medir hasta milésimas de milímetro o diezmilésimas de pulgada.

Los micrómetros están disponibles en variedad de tamaños y formas, y hasta para propósitos especiales, pero es usado el mismo principio para obtener las lecturas.

Existen micrómetros para exteriores, interiores y profundidades, algunos incorporan la medición de exteriores e interiores en la misma unidad. Se encuentran disponibles con varias puntas de medición (que son endurecidas para evitar el desgaste). Estas puntas pueden ser planas, redondeadas, puntiagudas o afiladas.



Comparadores ópticos

Los comparadores o proyectores ópticos, son excelentes para la inspección visual y la medición. Un comparador óptico produce la imagen ampliada de un objeto en dos dimensiones sobre una pantalla de cristal translúcido. Puede usar luz reflejada o luz de fondo (o combinación de ambas). La ampliación está disponible desde el tamaño natural hasta 50X. Cuenta con plantillas de comparación que son colocadas sobre la pantalla para verificar la exactitud dimensional. Los resultados pueden ser fotografiados.



Calibradores vernier

Un calibrador vernier es un instrumento que se ajusta para la medición de espesor, diámetro, distancia entre superficies y profundidades. Utiliza una escala Vernier que permite realizar lecturas a una fracción de una división de la escala principal. Siendo el calibrador Vernier un instrumento de medición extremadamente preciso; el error de lectura es de $1/20\text{mm} = 0.05\text{ mm}$. Las longitudes estándar son 6", 12", 24", 36 y 48". Los tres tipos de calibradores usados son el Vernier, el de Carátula y el Digital.

Como una recomendación, y hasta donde sea posible, las lecturas deben tomarse con el calibrador colocado en la pieza inspeccionada.



Indicadores de carátula

Un instrumento ampliamente usado en inspecciones y operaciones de control de calidad es el indicador de carátula. En ocasiones es usado junto con calibradores de alturas o cuando se desea realizar un barrido de la superficie inspeccionada.

Este instrumento consiste de una carátula graduada, calibrada en centésimas de milímetro o milésimas de pulgada. Se encuentran en variedad de rangos de medición y resoluciones. Actúa por empuje, la variación de la superficie se determina con la deflexión de una aguja indicadora, la cual se produce conforme el indicador o la pieza inspeccionada se mueven. Puede estar equipado con brazos mecánicos o dispositivos de sujeción, de tal forma que pueda sujetarse a un objeto fijo (rígido), y con ello se puedan realizar mediciones contra una referencia. Un uso común es sujetándolo a una cama del torno para verificar las variaciones de dimensiones horizontales y circunferenciales.



Calibradores (galgas)

Existen otros calibradores para mediciones especiales, algunos de ellos son calibradores de profundidad, para medir cuerdas o hilos, transportadores y transportadores de bisel (para medir ángulos), niveles (para medir la variación horizontal), calibradores de interiores y exteriores, para medir diámetros y uniformidad de agujeros, de radios, de tornillos, de espesor (series de hojas de varios espesores conocidos para verificar separaciones). Estos dispositivos son especialmente diseñados y construidos para una aplicación particular. Se encuentran en surtido amplio. Es importante tener presente que la calidad no puede ser sacrificada por el costo de los dispositivos de medición.



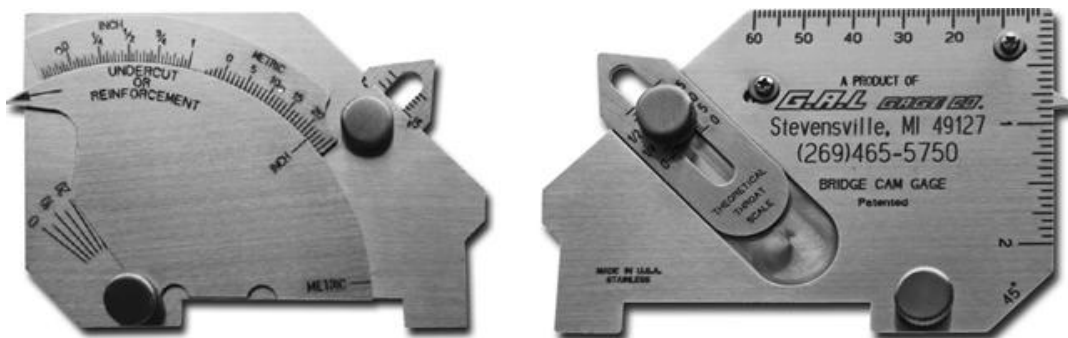
Calibradores para inspección de soldaduras

La inspección de soldaduras de fabricación es un campo altamente especializado, requiere conocimiento de la metalurgia de la soldadura, los procesos, la simbología y de los requisitos aplicables de los documentos de soldadura.

La inspección visual de soldaduras para detectar discontinuidades superficiales y para determinar las características físicas de configuración adecuada de la junta soldada, se realiza usando fuentes artificiales de luz, espejos, reglas, magnificadores y calibradores especiales de soldadura, algunos de los cuales y su uso se describen a continuación.

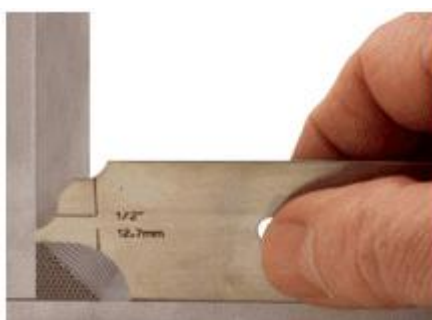
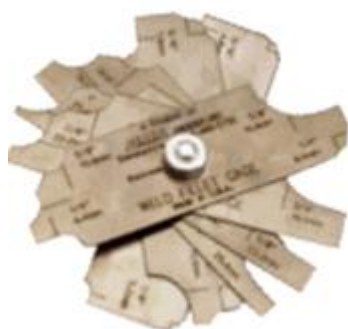
1. Calibrador Bridge Cam

El calibrador "Bridge Cam", para funciones múltiples, puede ser utilizado para determinar las siguientes características:



2. Calibrador de soldaduras de filete

Este calibrador ofrece un medio rápido para medir la soldadura más utilizada, la de filete, con espesores desde 1/8" hasta 1". Puede medirse la longitud de pierna y determinar concavidad y convexidad, son calibradores pasa/no pasa.



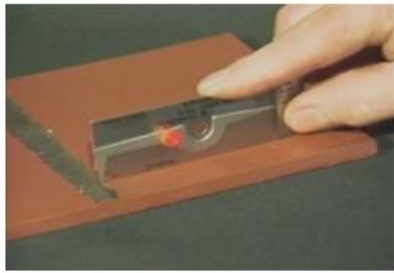
3. Calibrador Hi-Lo

Este calibrador está disponible en dos configuraciones básicas; con el más completo se puede determinar:

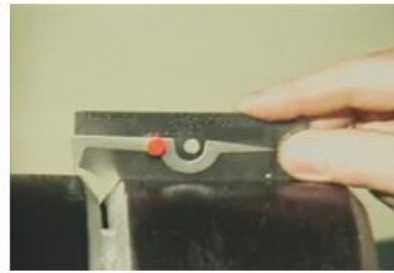


4. Otros tipos de calibradores con sus aplicaciones

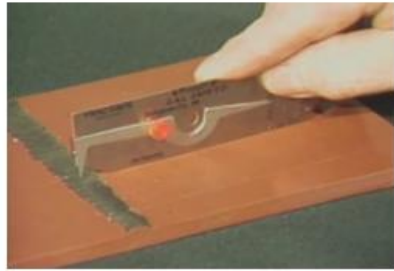
a. Pit gage



Profundidad de socavados o picaduras



Desalineamiento de la junta



Refuerzo o corona de juntas a tope

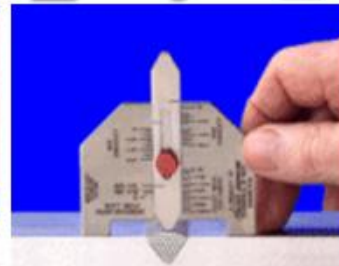


Cantidad de poros por pulgadas y diámetro

b . Calibrador para propósitos múltiples



Longitud de pierna



Refuerzo o corona



Tamaño de garganta



Desalineamiento (Hi-Lo) durante el ajuste



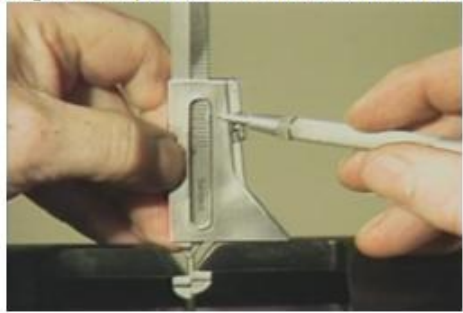
Abertura de raíz



Longitud de pierna en soldaduras de filete



Refuerzo o corona de juntas a tope



espesor de pared en uniones de tubos a tope



Ángulo de preparación del bisel

c. Calibrador ajustable para soldaduras de filete



Tamaño de garganta

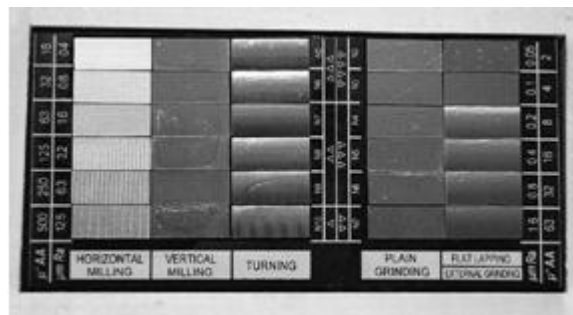


Longitud de pierna

Estándares de comparación

Son estándares físicos que proporcionan una representación de las características deseadas de un objeto; incluyen a los calibradores pasa/no pasa, calibradores por transferencia y calibradores para cuerdas o roscas, también se incluye a los estándares de comparación visual, como los usados para evaluar la rugosidad superficial. Los calibradores por comparación proporcionan una técnica de inspección barata y simple, pero los resultados son reportados como datos de atributos

Los estándares para rugosidad superficial son una forma barata para verificar la textura superficial producida por procesos específicos. Se encuentran disponibles como escalas con capas verticales, horizontales o circulares para simular procesos como fresado, torneado, rectificado o fundición. Cada escala representa un patrón o proceso e incluye un rango de rugosidad.



Las roscas en birlos, espárragos, tuercas, extremos roscados de tubería, etc., se inspeccionan para determinar variedad de características como hilos por pulgada, diámetro mayor y menor, ángulo de la cuerda, forma, etc. Los anillos y tapones calibradores para rosca son simples calibradores pasa/no pasa usados para verificar roscas internas y externas. Se usan en pares, donde uno es el calibrador pasa y el otro es el no pasa.



b. Calibración y control de calibradores

La calibración es la comparación de un instrumento de medición contra un estándar de referencia, de tolerancia cerrada y exactitud conocida. Esta se realiza contra un estándar cuya exactitud tiene seguimiento con un organismo de estandarización. La calibración generalmente se documenta en

registros permanentes y al instrumento se le coloca una etiqueta de certificación, indicando la fecha en la que debe ser calibrado nuevamente.

Un sistema efectivo de calibración debe asegurar que se realice la calibración de todos los instrumentos de medición considerados, dentro de un periodo establecido. Cualquier instrumento al que se le ha vencido la calibración debería ser calibrado y certificado antes de utilizarlo.

c. Cuidado y manejo de los calibradores

Para asegurar que la exactitud y precisión de los calibradores sea constante, es importante evitar un trato abusivo o descuidado. Los instrumentos deben mantenerse libres de polvo y humedad, y las huellas digitales deben limpiarse antes de guardarlos. El cuidado comprende evitar rayones o golpes sobre las superficies de contacto, las caras de las carátulas y las graduaciones.

Siempre que sea posible, las lecturas deben tomarse estando el calibrador colocado en la pieza; si es necesario quitar el calibrador antes de tomar la medición, debe asegurarse y retirarse con cuidado, nunca debe forzarse sobre o al retirarlo de una pieza, y no debe tallarse contra la pieza, ya que al tallarlo sobre la superficie tiende a producirse desgaste no uniforme. No se recomienda usar mangueras de aire para limpiar un calibrador variable, ya que puede forzarse polvo y humedad en las partes con movimiento; cuando un calibrador variable se cae o es sometido a trato abusivo, debe calibrarse antes de ser usado.

Los calibradores pueden mantenerse en cajas especialmente diseñadas, estando limpios y lubricados, como sea requerido.

2.5 Dispositivos indicadores de temperatura

Además de ayudas mecánicas para inspección visual, pueden ser necesarios dispositivos indicadores de temperatura, usados para controlar operaciones de proceso como soldadura y tratamiento térmico. También pueden ser necesarios cuando se realizan pruebas funcionales en sistemas de presión, para verificar las condiciones de temperatura en los componentes de soporte.

Existen diferentes dispositivos y a continuación se describen.

Termómetros bi-metálicos

Operan con base en dos principios fundamentales, el primero es que el volumen de los metales cambia con la temperatura. Al cambio en la relación temperatura/volumen se le conoce como “*coeficiente de expansión*”; el segundo principio es que los diferentes metales tienen diferente coeficiente de expansión.

Estos termómetros usan estos principios, cuentan con dos láminas de metal con coeficientes de expansión diferentes. La deflexión que toma lugar es proporcional al cambio de temperatura.

El termómetro proporciona lecturas directas de la temperatura superficial de tubería o componentes. Como requisito al usarlos, las lecturas de temperatura deben tomarse muy cerca del área de interés.

Pirómetros

El pirómetro, que ofrece lecturas directas de temperatura, es usado cuando la temperatura que debe medirse excede los límites del mercurio o de otros termómetros. La punta de la sonda se coloca sobre la pieza y la temperatura que se lee es en la superficie. El pirómetro proporciona lecturas más exactas que los medidores superficiales



Crayones sensibles a la temperatura

Estos crayones son usados para obtener una temperatura aproximada. Con el crayón se hace una marca en el metal que está siendo verificado, por ejemplo, cuando se utiliza un crayón de 500°F, la temperatura de la pieza es de al menos 500°F cuando la marca se funde. La medición debe realizarse dentro de 1" (25.4 mm) del metal base adyacente a una soldadura. La marca no debe hacerse directamente sobre la soldadura, por la contaminación.

El uso de cada crayón se basa en la temperatura máxima a la que se funde, por lo que podría necesitarse un juego, dependiendo de las necesidades.

El valor de la temperatura a la que se funde se encuentra indicado en una etiqueta y tiene un color distintivo, dependiendo la temperatura.



2.6 Microscopios

Los microscopios de laboratorio normalmente se encuentran en un rango de poder de amplificación desde 100X hasta 2000X, y en algunos casos mayor.

Usan sistemas de lentes compuestos con dos o más juegos separados. Es común para estos microscopios incluir condiciones para instalar una cámara fotográfica o de video. Usar cámara de video permite observar imágenes sobre un monitor y tener un excelente medio para la documentación.

La mayoría ha sido desarrollada para uso médico y se basa en la transmisión de la luz a través del objeto para formar su imagen, esto los limita a usarse en objetos translúcidos, en los que existe suficiente luz transmitida.

Los microscopios diseñados para obtener imágenes de objetos opacos tienen condiciones para que la iluminación sobre la pieza sea en forma vertical, los microscopios metalográficos son un ejemplo. También, incluyen condiciones para la documentación fotográfica usando cámaras instantáneas o de 35 mm.

