

# Inspección Visual Niveles I y II

Manual de Instrucción

NP. 123-456-304  
28.09.2006\_OK



# CONTENIDO

## Introducción

- i. ¿Qué son las pruebas no destructivas?
- ii. Antecedentes históricos
- iii. Falla de materiales
- iv. Clasificación de las Pruebas no Destructivas
- v. Razones para el uso de Pruebas no Destructivas
- vi. Factores para la selección de las Pruebas no Destructivas
- vii. Calificación y certificación del personal de PND

## Capítulo I: Principios de Inspección Visual

- i. Descripción de la inspección visual y óptica
- ii. Principios básicos
- iii. Antecedentes históricos
- iv. Aplicaciones
- v. Ventajas
- vi. Limitaciones
- vii. Visión
- viii. Fundamentos de la luz
- ix. El ojo humano
- x. Condiciones que afectan la inspección
- xi. Métodos de inspección visual

## Capítulo II: Equipo para Inspección Visual

- i. Ayudas ópticas para inspección visual
- ii. Iluminación
- iii. Medición dimensional
- iv. Dispositivos de medición
- v. Dispositivos indicadores de temperatura
- vi. Microscopios

## Capítulo III: Equipo para Inspección Visual Indirecta

- i. Boroscopios rígidos
- ii. Fibroscopios
- iii. Video probadores o videoscopios (Inspección visual remota)

## **Capítulo IV: Características de Objetos Inspeccionados**

- i. Textura superficial
- ii. Color y brillo
- iii. Geometría

## **Capítulo V: Discontinuidades en los Materiales**

- i. Discontinuidades inherentes, de proceso e inducidas en servicio
- ii. Procesos primarios soldadura y fundición

## **Capítulo VI: Aplicaciones de la Inspección Visual**

- i. Aplicaciones de la inspección visual para metales

## **Capítulo VII: Documentación de la Inspección Visual**

- i. Dibujos
- ii. Fotografía
- iii. Fotogrametría
- iv. Replicación

## **Capítulo VIII: Documentos**

- i. Planeación de la inspección
- ii. Secuencia de la inspección visual
- iii. Inspección visual de soldaduras
- iv. Planes de muestreo para la inspección visual
- v. Códigos, normas y especificaciones
- vi. Procedimientos de inspección
- vii. Criterios de aceptación
- viii. Anexos



# INTRODUCCION

## i. ¿Qué son las pruebas no destructivas?

Las Pruebas no Destructivas son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio, y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa. Así como la mayoría de procedimientos complejos, no pueden ser definidas en pocas palabras por lo que se definen como: *“El empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura”*.

Se identifican con las siglas **PND**, y se consideran como sinónimos a: Ensayos no destructivos (**END**), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

## ii. Antecedentes históricos

El método de prueba no destructiva original, y más antiguo, es la inspección visual, una extensión de esta prueba son los líquidos penetrantes, el inicio de los cuales es considerado con la aplicación de la técnica del “aceite y el talco”. A continuación se proporciona una lista de acontecimientos históricos relacionados con descubrimientos y aplicaciones de las pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar los campos magnéticos
- 1879 Hughes establece un campo de prueba
- 1879 Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Roentgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Roentgen descubre los rayos “X”
- 1896 Becquerel descubre los rayos “Gamma”
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patentó las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

## iii. Falla de materiales

Debemos aclarar la diferencia entre productos, de acuerdo con sus aplicaciones:

- Algunos productos son usados únicamente como decorativos, o tienen requisitos de resistencia a esfuerzos tan bajos que son normalmente sobre diseñados. Estos materiales pueden requerir la inspección solamente para asegurar que mantienen su calidad de fabricación, tal como el color y acabado.
- Los productos o materiales que necesitan pruebas y evaluación cuidadosa son aquellos utilizados para aplicaciones en las cuales deben soportar cargas, temperatura, etc. Bajo estas condiciones, la **falla** puede involucrar situaciones como sacar de operación y desechar el producto, reparaciones costosas, dañar otros productos y la pérdida de la vida.

Se puede definir como “Falla” a: “*el hecho que un artículo de interés no pueda ser utilizado*”.

Aunque un artículo fabricado es un producto, el material de ese producto puede fallar, así que, los tipos de falla del material y sus causas son de gran interés. Existen dos tipos generales de falla:

1. La *fractura o separación* en dos o más partes, la cual es fácil de reconocer, y
2. La *deformación permanente o cambio de forma y/o posición*, la cual es menos fácil de reconocer.

Es de gran importancia conocer el tipo de falla que pueda esperarse, para saber:

- ¿Para qué se realiza la inspección?
- ¿Qué método de inspección se debe utilizar?
- ¿Cómo se inspeccionará?, y
- ¿Cómo se reduce el riesgo de falla?

Si esperamos prevenir la falla por medio del uso de pruebas no destructivas, estas deben ser seleccionadas, aplicadas e interpretadas con cuidado y basándose en el conocimiento válido de los mecanismos de falla y sus causas.

El conocimiento de materiales y sus propiedades es muy importante para cualquier persona involucrada con las pruebas no destructivas.

El propósito del diseño y aplicación de las pruebas debe ser el control efectivo de los materiales y productos, con el fin de satisfacer un servicio sin que se presente la falla prematura o un daño.

La fuente de la falla puede ser:

- Una discontinuidad,
- Un material químicamente incorrecto, o
- Un material tratado de tal forma que sus propiedades no son adecuadas.

La detección de discontinuidades es considerada normalmente como el aspecto más importante para la aplicación de las pruebas no destructivas; la mayoría de pruebas está diseñada para permitir la detección de algún tipo de discontinuidad interior o exterior, o la medición de algunas características, de un solo material o grupos de materiales.

## Discontinuidad

Cualquier interrupción o variación local de la continuidad o configuración física normal de un material.

Se puede considerar discontinuidad a: cualquier cambio en la geometría, huecos, grietas, composición, estructura o propiedades. Algunas discontinuidades, como barrenos o formas de superficies, son consideradas como intencionales en el diseño y no requieren ser inspeccionadas. Otras discontinuidades, son inherentes en el material, por su composición química o su estructura, estas discontinuidades pueden variar ampliamente en tamaño, distribución e intensidad, dependiendo del material, el tratamiento térmico, el proceso de fabricación y el medio ambiente al que están expuestos los materiales, en este caso, son las discontinuidades que se requiere detectar.

En general, existen dos clasificaciones de discontinuidades:

### 1. Por su forma

**Volumétricas.** Descritas porque tienen tres dimensiones o volumen.

**Planares.** Descritas porque son delgadas en una dimensión y grandes en las otras dos dimensiones.

### 2. Por su ubicación

**Superficiales.** Descritas porque se encuentran abiertas a la superficie.

**Internas.** Descritas porque no interceptan la superficie.

Otras clasificaciones de discontinuidades:

**Relevantes.** Son aquellas que por alguna de sus características (dimensiones, forma, etc.) deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas.

**No relevantes.** Son aquellas que por alguna de sus características se interpretan pero no se evalúan, y que deberían ser registradas.

**Lineales.** Son aquellas con una longitud mayor que tres veces su ancho.

**Redondas.** Son aquellas de forma elíptica o circular que tienen una longitud igual o menor que tres veces su ancho.



## Defecto

Es una discontinuidad que excede los criterios de aceptación establecidos, o que podría generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento.

## Indicación

Es la respuesta que se obtiene al aplicar algún método de pruebas no destructivas, que requiere ser interpretada para determinar su significado.

Se clasifican en tres tipos:

- Indicaciones falsas: Se producen por una aplicación incorrecta de la prueba.
- Indicaciones no relevantes: Producidas por el acabado superficial o la configuración del material.
- Indicaciones verdaderas: Producidas por discontinuidades.

Al aplicar una prueba no destructiva los técnicos observan indicaciones, por lo que deben determinar cuales son producidas por discontinuidades.

## iv. Clasificación de las Pruebas no Destructivas

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición donde se ubican las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

1. Pruebas no Destructivas superficiales.
2. Pruebas no Destructivas volumétricas.
3. Pruebas no Destructivas de hermeticidad.

### 1. Pruebas no Destructivas superficiales

Estas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

<b>VT</b>	-	Inspección Visual
<b>PT</b>	-	Líquidos Penetrantes
<b>MT</b>	-	Partículas Magnéticas
<b>ET</b>	-	Electromagnetismo

En el caso de utilizar VT y PT se tiene el alcance de detectar solamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y en el caso de MT y ET se detectan tanto discontinuidades superficiales como subsuperficiales, que son aquellas debajo de la superficie pero muy cercanas a ella.

## 2. Pruebas no Destructivas volumétricas

Estas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND volumétricas son:

<b>RT</b>	-	Radiografía Industrial
<b>UT</b>	-	Ultrasonido Industrial
<b>AET</b>	-	Emisión Acústica

Estas PND permiten la detección de discontinuidades internas y subsuperficiales, así como bajo, ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

## 3. Pruebas no destructivas de hermeticidad

Proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de PND de hermeticidad son:

<b>LT</b>	-	Pruebas de Fuga
	-	Pruebas de Cambio de Presión. (Neumática o hidrostática)
	-	Pruebas de Burbuja
	-	Pruebas por Espectrómetro de Masas
	-	Pruebas de Fuga con Rastreadores de Halógeno

## v. Razones para el uso de PND.

A continuación se menciona una serie de razones para el uso de las Pruebas no Destructivas:

- La identificación o separación de materiales.
- La identificación de propiedades de materiales y la confiabilidad asociada con su existencia.
- Uniformidad en la producción.
- Ahorro en los costos de producción.
- Para eliminar materia prima defectuosa.
- Para realizar mejoras en los sistemas de producción.
- Buscando asegurar la calidad en el funcionamiento de sistemas en servicio, en plantas o diversos tipos de instalaciones.
- Buscando prevenir la falla prematura de materiales durante su servicio.
- Como herramientas de diagnóstico después de haberse presentado la falla, para determinar las razones de la misma.

## vi. Factores para la selección de las PND.

Es necesario considerar una serie de factores básicos para la selección y aplicación de las PND.

- Los tipos de discontinuidades a detectar
- El tamaño, la orientación y la ubicación de las discontinuidades a detectar
- El tamaño y la forma del objeto a inspeccionar
- Las características del material que será inspeccionado

## vii. Calificación y certificación del personal de PND.

Antes de aplicar las Pruebas no Destructivas se requiere cumplir con ciertos requisitos, los que a continuación se mencionan:

- La calificación del método de inspección utilizado.

Las PND deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos escritos de inspección, que deberían ser previamente calificados.

- La calificación del personal que realiza la inspección.

Se considera que el éxito de cualquier Prueba no Destructiva es afectado principalmente por el personal que realiza, interpreta y/o evalúa los resultados de la inspección. Por esta razón, los técnicos que ejecutan las PND deben estar calificados y certificados.

- La administración del proceso de calificación y del personal para asegurar resultados consistentes.

Actualmente, existen dos programas para la calificación y certificación del personal que realiza PND, aceptados a escala internacional además de uno nacional. Estos programas son:

- ✓ La Práctica Recomendada SNT-TC-1A, editada por A.S.N.T.,
- ✓ La Norma ISO-9712, editada por ISO, y
- ✓ La Norma Mexicana NOM-B-482.

### SNT-TC-1A

Es una Práctica Recomendada que proporciona los lineamientos para el programa de calificación y certificación del personal de ensayos no destructivos de una empresa. Es editada por la ASNT.

**ASNT**

American Society For Nondestructive Testing (Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos).

**ISO 9712**

Es una Norma Internacional que establece un sistema para la calificación y certificación, por una agencia central nacional con reconocimiento internacional, del personal que realiza pruebas no destructivas en la industria.

**ISO**

International Organization for Standardization (Organización Internacional para Normalización).

**Calificación**

Es el cumplimiento documentado de requisitos de: escolaridad, entrenamiento, experiencia y exámenes (teóricos, prácticos y físicos); establecidos en un programa escrito. Este programa puede ser un procedimiento interno de la empresa, de acuerdo con SNT-TC-1A, o una norma nacional, de acuerdo con ISO-9712.

Existen tres niveles básicos de calificación, los cuales, pueden ser subdivididos por la empresa o el país, para situaciones en las que se necesiten niveles adicionales para trabajos y responsabilidades específicas.

**Niveles de Calificación****Nivel I**

Es el individuo calificado para efectuar calibraciones específicas, para efectuar PND específicas, para realizar evaluaciones específicas para la aceptación o rechazo de materiales de acuerdo con instrucciones escritas, y para realizar el registro de resultados. Debe recibir la instrucción o supervisión necesaria de un nivel III o su designado.

**Nivel II**

Es el individuo calificado para ajustar y calibrar el equipo y para interpretar y evaluar los resultados de prueba con respecto a códigos, normas y especificaciones. Esta familiarizado con los alcances y limitaciones del método y puede tener la responsabilidad asignada del entrenamiento en el lugar de trabajo de los niveles I y aprendices. Es capaz de preparar instrucciones escritas y organizar y reportar los resultados de prueba.

### **Nivel III**

Es el individuo calificado para ser el responsable de establecer técnicas y procedimientos; interpretar códigos, normas y especificaciones para establecer el método de prueba y técnica a utilizarse para satisfacer los requisitos; debe tener respaldo práctico en tecnología de materiales y procesos de manufactura y estar familiarizado con métodos de PND comúnmente empleados; es responsable del entrenamiento y exámenes de niveles I y II para su calificación.

### **Requisitos de calificación**

#### **Entrenamiento (capacitación)**

Es el programa estructurado para proporcionar conocimientos teóricos y desarrollar habilidades prácticas en un individuo a fin de que realice una actividad definida de inspección.

#### **Experiencia Práctica**

No se puede certificar personal que no tenga experiencia práctica en la aplicación de PND, por lo que:

- El técnico Nivel I: Debe adquirir experiencia como aprendiz.
- El técnico Nivel II: Debe trabajar durante un tiempo como nivel I.
- El técnico Nivel III: Debió ser aprendiz, nivel I y haber trabajado al menos uno o dos años como nivel II.

Esta experiencia debe demostrarse con documentos, que deben ser mantenidos en archivos o expedientes personales para su verificación.

#### **Exámenes Físicos**

Tienen la finalidad de demostrar que el personal que realiza las PND es apto para observar adecuada y correctamente las indicaciones obtenidas.

Los exámenes que se requieren son:

- Agudeza visual lejana.
- Agudeza visual cercana.
- Discriminación cromática.

Para los exámenes de agudeza visual el técnico debe ser capaz de leer un tipo y tamaño especificado de letra a una cierta distancia; En el caso del examen de discriminación cromática, o diferenciación de colores, debe ser capaz de distinguir y diferenciar los colores usados en el método en el cual será certificado.

De acuerdo con SNT-TC-1A, el examen de agudeza visual debe realizarse cada año y el de discriminación cromática cada tres años.

## Exámenes de conocimientos

Los exámenes administrados para calificación de personal nivel I y II consisten de: un examen general, un específico y un práctico. De acuerdo con SNT-TC-1A, la calificación mínima aprobatoria, de cada examen, es de 70% y, además, el promedio simple mínimo de la calificación de los tres exámenes es de 80%.

## Requisitos mínimos para la calificación en VT Nivel I y II (SNT-TC-1A)

- Escolaridad mínima de preparatoria terminada o equivalente.
- Experiencia mínima de 210 horas o tres meses en inspección visual.
- Entrenamiento teórico-práctico mínimo de 24 horas.
- Haber aprobado los tres exámenes de evaluación y lograr el promedio simple mínimo.
- Haber presentado y aprobado los exámenes físicos.

## Certificación

La certificación es el testimonio escrito de la calificación. La certificación del personal de Pruebas no Destructivas de todos los niveles es responsabilidad de la empresa que lo contrata (de acuerdo con SNT-TC-1A), o de la agencia central (de acuerdo con ISO-9712), y debe estar basada en la demostración satisfactoria de los requisitos de calificación.

El documento SNT-TC-1A recomienda contar con registros de certificación del personal, los cuales deben mantenerse archivados por la empresa, durante el tiempo especificado en el procedimiento escrito de la empresa, y deberían incluir lo siguiente:

1. Nombre del individuo certificado.
2. Nivel de certificación y el método de PND.
3. Educación y el tiempo de experiencia del individuo certificado.
4. El establecimiento indicando el cumplimiento satisfactorio del entrenamiento, de acuerdo con los requisitos de la práctica escrita del empleador.
5. Los resultados de los exámenes de la vista descritos en el párrafo 8.2 para el periodo de certificación vigente.
6. Copias de los exámenes actuales o evidencia del cumplimiento satisfactorio de los exámenes.
7. Otras evidencias adecuadas de calificaciones satisfactorias, cuando tales calificaciones sean usadas para la exención del examen específico como se describe en el párrafo 8.8.3.2 o como se describa en la práctica escrita del empleador.
8. Calificación compuesta o evidencia adecuada de las calificaciones.

9. Firma del Nivel III que ha verificado las calificaciones del candidato para su certificación.
10. Fecha de certificación y/o recertificación, y la fecha de asignación a PND.
11. Fecha en la que expira la certificación.
12. Firma de la autoridad certificadora del empleador.

La certificación tiene validez temporal únicamente. ISO y ASNT establecen un periodo de vigencia de la certificación de:

- Tres años para los niveles I y II.
- Cinco años para los niveles III.

Todo el personal de PND debe ser recertificado, de acuerdo con SNT-TC-1A, con uno de los siguientes criterios:

- Evidencia de continuidad laboral satisfactoria en Pruebas no Destructivas.
- Reexaminación.





# CAPITULO UNO: PRINCIPIOS DE INSPECCION VISUAL

## i. Descripción de la Inspección Visual y Óptica

Típicamente, las Pruebas no Destructivas se llevan a cabo aplicando un medio de inspección (como energía electromagnética o acústica) a un material. Después del contacto con el material inspeccionado, ciertas propiedades del medio de inspección aplicado se cambian y entonces son utilizadas para determinar cambios en las características del material inspeccionado.

Por ejemplo, diferencias de densidad en una radiografía o la generación y localización de un pico sobre el trazo de un osciloscopio, son medios utilizados para indicar los cambios del medio de inspección.

La inspección visual y óptica es aquella que utiliza la energía de la porción visible del espectro electromagnético. Los cambios en las propiedades de la luz, después de entrar 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 o magnificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.

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

## ii. 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.

## **Detección mediante fluorescencia**

La inspección visual puede basarse en la fluorescencia como un medio para el control de calidad de compuestos químicos, para identificar dinero falso, para rastrear flujos de agua ocultos y para detectar discontinuidades en metales. Se dice que un material es fluorescente cuando al exponerlo a radiación produce una emisión secundaria de longitud de onda más grande que la primaria.

### iii. 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.

Durante la Segunda Guerra Mundial los boroscopios fueron usados para inspeccionar visualmente cañones de armas antiaéreas, turbinas de vapor de barcos de guerra, cañones de tanques, etc. Durante el Proyecto Manhattan, Crampton proporcionó un boroscopio para inspeccionar, desde fuera de las barreras de concreto del reactor, tubos cercanos a la pila radiactiva. Para este proyecto se desarrolla el primer instrumento óptico que utiliza vidrio resistente a la radiactividad.

#### iv. 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)”.

Para muchos objetos, la inspección visual es utilizada para determinar la cantidad, tamaño, forma o configuración, acabado superficial, reflectividad (reflexión), características de color, ajuste, características funcionales y la presencia de discontinuidades superficiales.

En general, las inspecciones con energía luminosa son utilizadas primeramente para dos propósitos:

- 1) La inspección de superficies expuestas o accesibles de objetos opacos (incluyendo la mayoría de ensamblajes parciales o productos terminados), y
- 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, se requieren comprobaciones visuales.

Por ejemplo, la industria de la energía confía considerablemente en la transferencia, intercambio y acumulación de calor a través de varios estados del agua, líquido o gas. Primero, se fabrica tubería o tubos y recipientes para contener presión. Después, ellos son sujetos a condiciones como la fatiga, corrosión y erosión que pueden provocar la falla durante su vida útil.

Por consiguiente, la comprobación visual del material en bruto, antes de la fabricación, durante la fabricación y por exámenes programados periódicamente durante la vida del producto, es considerada como apropiada.

También, las discontinuidades de fabricación, durante el proceso de soldadura, son muy importantes. Ya sea durante el proceso del material o durante la vida en servicio, las discontinuidades pueden ser prevenidas o removidas. Durante el servicio, el inspector debe diferenciar entre las fallas de fabricación, como porosidad, escoria, socavado, etc. y las fallas de servicio, como desgaste, grietas por erosión, corrosión, etc.

La industria petroquímica tiene las mismas consideraciones, pero con mayor énfasis en la corrosión que provoca desgaste en tanques, recipientes sujetos a presión, tubería o tubos.

En la industria del transporte existe un cambio mayor en el énfasis, desde la presión contenida y los ambientes corrosivos hasta los esfuerzos por cargas y la fatiga de los componentes. Mientras que los ambientes corrosivos, como el salitre, fluidos hidráulicos, etc. son una preocupación, el uso de aluminio, manganeso, tungsteno, etc. acentúan las grietas por fatiga y el desgaste.

Las infraestructuras, como edificios, puentes, túneles, monorraíles, etc., están más enfocadas a la integridad estructural de columnas de soporte, vigas, paredes y la obstrucción de conductos en alcantarillas o sistemas de transferencia de fluidos (conductos o tubería).

Las aplicaciones en la industria del acero requieren la investigación de fallas inherentes y las pérdidas en dimensiones, sobre la base de un volumen grande. La comprobación visual práctica busca los atributos generales en la superficie. Pero debido a los grandes volúmenes, la óptica, el láser y las computadoras son la ayuda del inspector.

## **v. 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.

## **vi. 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.

## **vii. 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.

## 1. 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.

## **2. Ley de Weber**

La ley de Weber se usa ampliamente por psicoanalistas, la cual establece los siguientes principios:

1. Los elementos individuales tales como puntos o líneas son ligeramente más importantes que su relación entre ellos.
2. Las formas cerradas parecen resaltar más fácilmente que las formas abiertas.

Al observar una pintura completa, el sistema visual inicia codificando las propiedades básicas, que son procesadas en el cerebro, incluyendo sus relaciones espaciales. Cada artículo dentro de un campo visual se almacena en una zona específica y se dibuja cuando sea requerido, para formar una pintura completa. Ocasionalmente, estos artículos son dibujados y colocados en posiciones erróneas. Este mal funcionamiento en el proceso de reensamblado, permite la creación de ilusiones ópticas, lo que provoca una mala interpretación.

Las propiedades codificadas se mantienen en su relación espacial respectiva y son comparadas con el área general de visión.

La atención enfocada selecciona e integra estas propiedades, formando un área específica de observación. En algunos casos, conforme cambia el área, la variedad de elementos que comprende la observación son modificados o actualizados para representar las condiciones actuales. Durante este paso, los datos nuevos son comparados con la información almacenada.

### 3. Percepción visual

La percepción visual en inspección visual y óptica es el estudio de “cómo la mente humana interpreta la información proporcionada visualmente, con la que se forma una impresión”. Es la interpretación de impresiones transmitidas desde la retina hasta el cerebro, en términos de la información sobre un mundo físico mostrado enfrente del ojo. La percepción visual involucra cualquiera, o más, de lo siguiente: reconocimiento de la presencia de algo (objeto, abertura o medio), su identificación, su localización en el espacio, su relación con otras cosas, identificando movimiento, color, brillantez o forma.

El proceso perceptivo incluye factores ambientales, fisiológicos y psicológicos. Esto es importante durante la inspección cuando la realidad física es diferente de la percepción. 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 que la mente utiliza para tomar una decisión correcta en la mayoría de ocasiones.

Muchas decisiones se toman con base en los indicios visuales proporcionados por la luz y sombras. Por ejemplo, frecuentemente indicaciones presentes en el borde de áreas con colores o sombras muy diferentes parecen ser como líneas o grietas.

La apariencia de textura frecuentemente indica esquinas, extremos o espacios en un objeto.

En la orientación del observador, con respecto al medio ambiente, se basa la percepción de arriba, abajo, izquierda y derecha. Cuando los accesorios de óptica proporcionan una imagen invertida, esto puede causar desorientación.

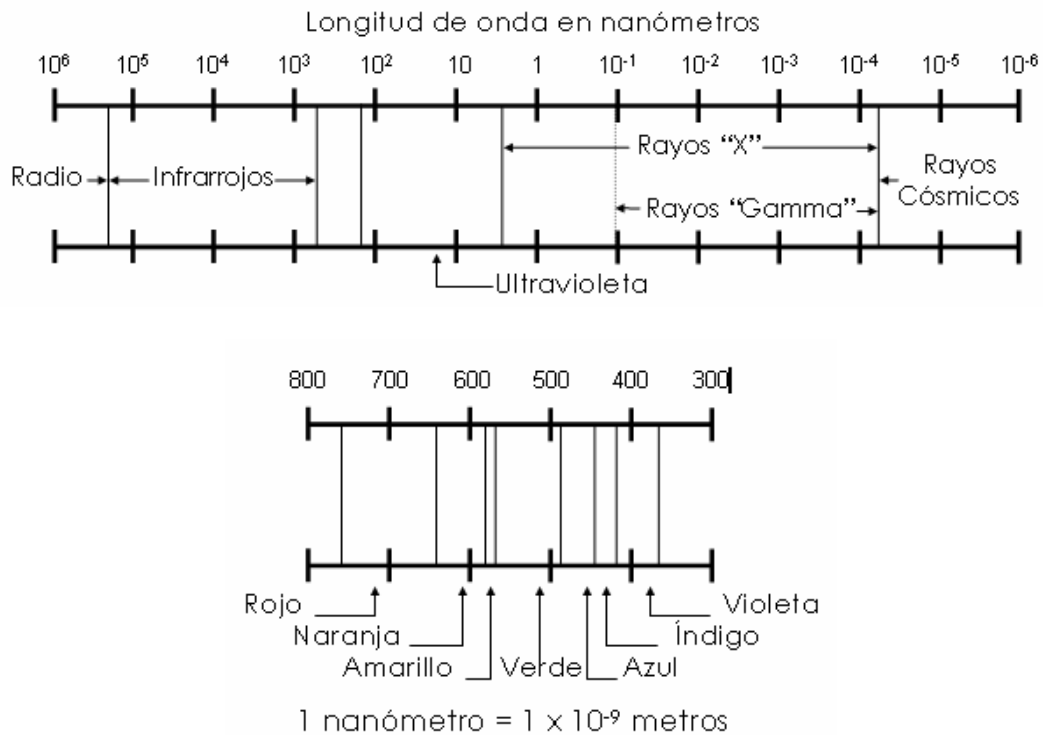
Los objetos con mucho brillo parecen ser más grandes que los objetos oscuros del mismo tamaño.

Los círculos se aprecian más pequeños que otros objetos con la misma dimensión mayor. Las líneas rectas parecen más largas que su longitud real. Los ángulos agudos se aprecian más grandes que su dimensión real, y los ángulos obtusos parecen más pequeños.

### viii. Fundamentos de la luz

Como se ha mencionado, en la inspección visual y óptica el medio de inspección es la luz, que se encuentra en la porción del espectro electromagnético, figura No. 1, con frecuencias entre 370 y 770 nm (nanómetros), que es capaz de excitar la retina humana.





**Figura No. 1: Espectro electromagnético y rango de luz visible**

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.

Newton probó que el color no es una característica de un objeto pero sí de la luz que se refleja hacia los ojos. El color con que observamos o percibimos un objeto es el resultado de la habilidad del objeto para absorber esa frecuencia de energía de la luz.

El papel blanco aparece blanco porque refleja todas las frecuencias de la energía radiante visible y no absorbe ninguna; una impresión aparece negra porque absorbe casi toda la energía. Si el papel se ve o es visto bajo luz roja, aparece rojo, pero la impresión aún aparece negra. El color del papel es afectado por la luz que lo ilumina.

El color puede ser descrito por tres propiedades que pueden medirse: brillo, matiz (tono) y saturación (pureza). 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. El matiz es lo que comúnmente se describe como color y depende de las longitudes de onda de la luz reflejada.

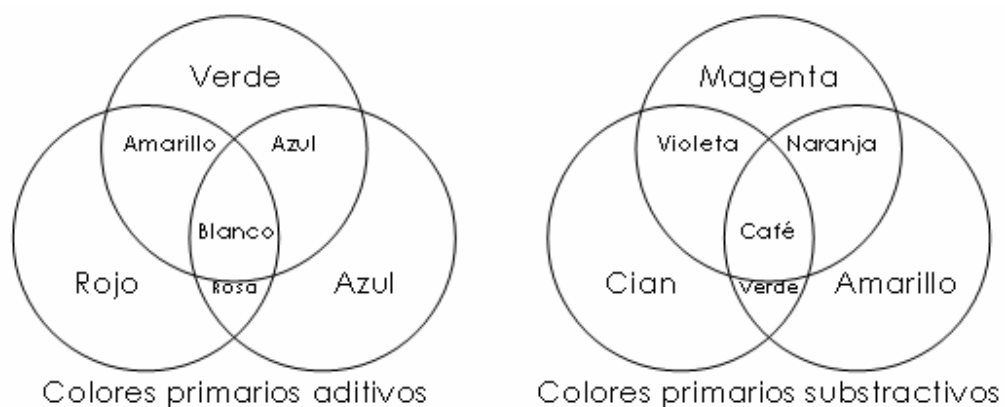
La saturación es la medición de la distancia desde el blanco o neutro y hasta el color correspondiente (su pureza) y se describe como un color vivo o pálido, también referido como la fuerza o intensidad del color.

El color, como es visto por el ojo, depende del tamaño del objeto observado. Cuando el observador ve un campo grande de color, el brillo, matiz y saturación son esencialmente uniformes. Conforme el campo de color se reduce en tamaño, la estructura del ojo causa un cambio al campo.

Todos los colores visibles pueden ser creados mezclando cantidades adecuadas de los colores primarios, figura No. 2. El color de los objetos, producido por la reflexión de la luz, se crea utilizando colores primarios substractivos (magenta, amarillo y cian).

Cada uno de los colores primarios substractivos absorbe uno de los colores primarios aditivos (rojo, verde y azul) y refleja los otros dos.

El resto del espectro es creado mezclando pigmentos de los tres colores primarios substractivos, como se ilustra en la figura No. 2.



**Figura No. 2: Formación de colores**

La proyección de luz coloreada crea el espectro de colores, utilizando los colores primarios aditivos, los cuales son utilizados en sistemas de televisión y de proyección de luz.

## **1. Tipos de luz**

Las fuentes de luz para inspección visual y óptica pueden ser divididas en cuatro categorías: incandescente, luminiscente, polarizada y coherente.

### **Luz incandescente**

Incandescencia es la emisión de luz debido a la excitación térmica de los átomos o moléculas. Las fuentes de luz incandescente incluyen a las lámparas de filamento, las lámparas de mantos de gas, lámparas piro luminiscentes y lámparas de arco de carbón.

### **Luz luminiscente**

La luminiscencia resulta de la excitación de un electrón de valencia simple. La luz luminiscente es más monocromática que la luz incandescente. Las fuentes de luz luminiscente incluyen a las lámparas de descarga de gas, láser, diodos emisores de luz (LED) y lámparas 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 vez de seguir vibrando en todas direcciones en torno de su trayectoria, solamente lo hace en direcciones privilegiadas paralelas a un plano llamado plano de polarización.

La luz polarizada es comúnmente producida utilizando una fuente de luz convencional y un filtro de polarización, el cual es identificado por el tipo de luz polarizada que produce: lineal, circular o elíptica. Los filtros también son usados para controlar la intensidad, color, y resplandor de la luz.

Muchas técnicas de óptica utilizan luz polarizada por su habilidad para producir patrones uniformes de interferencias constructivas y destructivas de las ondas de luz, lo que permite caracterizar variedad de productos evaluando los patrones de interferencia, cuando la luz polarizada es transmitida a través o reflejada por un objeto de prueba.

### **Luz coherente**

La luz coherente, como la producida por un láser, es luz visible o energía radiante con un alto grado de coherencia de fase.

Mientras la luz producida por la mayoría de fuentes de luz tiene un espectro ancho y producen un área iluminada divergente, la luz láser o en fase es alineada.

## 2. 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

Como se mencionó anteriormente, la energía radiante cubre un espectro (el espectro electromagnético), dentro del cual se encuentra la luz visible. Con base en la longitud de onda y la frecuencia, la energía radiante cuenta con un valor específico de energía.

Todas las formas de radiación electromagnética viajan a través del vacío a la misma velocidad 299,793 km/s. Cuando la luz viaja a través de cualquier otro medio, la velocidad es alterada, aunque la frecuencia permanece fija y es independiente del medio. La siguiente expresión establece la relación entre varias características de la luz:

$$v = \frac{\lambda \nu}{\eta}$$

Donde:

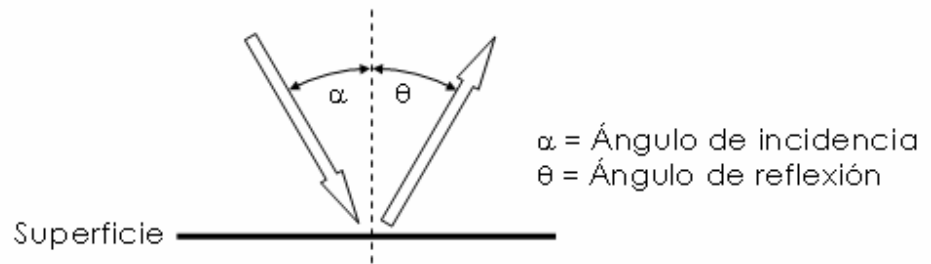
- v = Velocidad de la luz en el medio
- $\lambda$  = Longitud de onda de la luz en vacío
- $\nu$  = Frecuencia (en hertz)
- $\eta$  = Índice de refracción del medio

### Reflexión y refracción

La diferencia en el tiempo que le toma a la luz viajar a través de diferentes medios es responsable de varios principios utilizados en instrumentos de óptica.

La luz es reflejada cuando choca contra una superficie. La dirección del haz reflejado puede ser determinada construyendo una línea perpendicular a la superficie reflectora.

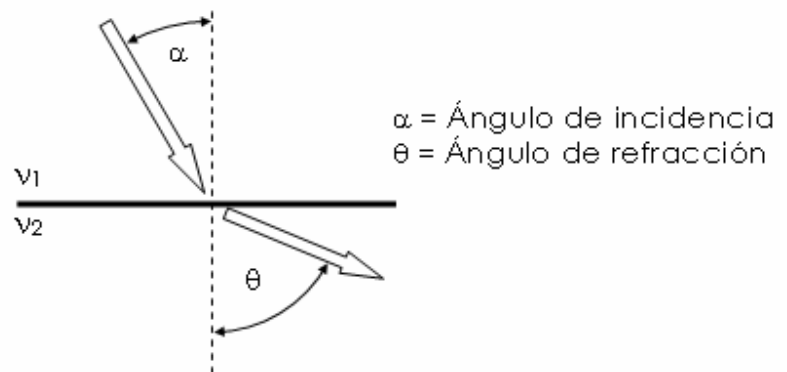
El ángulo de reflexión es el mismo que el ángulo de incidencia, tomando como referencia la perpendicular a la superficie, o la línea normal, como se ilustra en la figura No. 3.



**Figura No. 3: Reflexión de la luz**

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 que corresponde al 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, figura No. 4. La refracción depende del ángulo de incidencia de la luz y el índice de refracción.



**Figura No. 4: Refracción de la luz**

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.

$$\eta = \frac{v_v}{v_m}$$

Donde:

$\eta$	=	Índice de refracción
$v_v$	=	Velocidad de la luz en el vacío
$v_m$	=	Velocidad de la luz en el medio

Con base en la ecuación anterior, el ángulo de refracción puede ser determinado utilizando la “Ley de Snell”. Esta ley define al índice de refracción como igual a la relación entre los senos del ángulo de incidencia y el ángulo de refracción.

$$\eta_0 \text{ sen } \alpha = \eta_1 \text{ sen } \theta$$

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

### 3. Medición de la luz

La radiometría es la medición de la energía radiante del espectro electromagnético, incluyendo la luz visible. 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 que se consideran comúnmente en la inspección visual y óptica son las siguientes:

**Flujo luminoso:** Es la proporción 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. La unidades de iluminancia son los “Lux” (lx) o los “pies-candela” (ftc) (1 pie-candela = 10.86 lux).

**Luminancia:** Es una medición del flujo luminoso en una superficie dada considerando el ángulo de incidencia o de refracción. El flujo luminoso puede ser saliendo, pasando a través o llegando a la superficie. Históricamente, ha sido referido como brillantez fotométrica. La luminancia se mide en  $\text{cd/m}^2$  (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:

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

Donde:

I	=	Fuente de iluminancia
E	=	Superficie de iluminancia
d	=	Distancia entre la fuente y la superficie de iluminancia

La relación del inverso cuadrado significa que si se duplica la distancia se recibirá solamente 25% de la cantidad de luz. En la figura No. 5 se supone que la segunda serie de cuadros se encuentra al doble de distancia de la primera serie, con respecto a la fuente. En la segunda serie de cuadros la luz se distribuye en 16 de ellos, por lo que la intensidad en cada cuadro será del 25%, comparada con la intensidad recibida en cada cuadro de la primera serie.

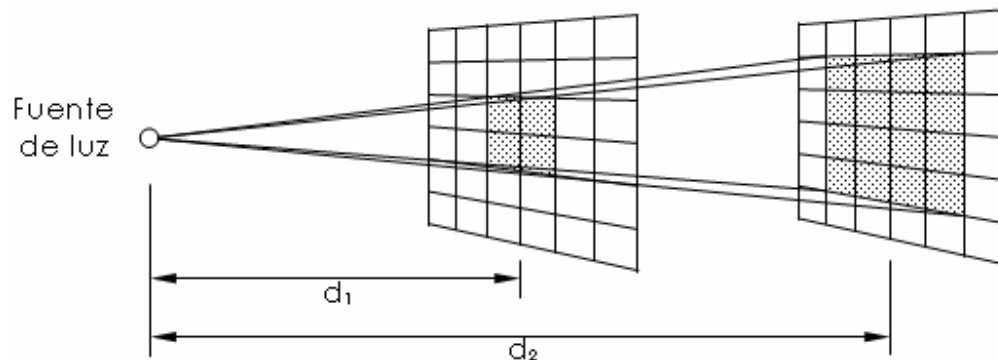


Figura No. 5: Ley del inverso cuadrado de la distancia

## 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.

## 4. 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. Un medidor de luz comercialmente disponible puede usarse para determinar si el medio ambiente de trabajo cumple con este estándar.

## **ix. El ojo humano**

### **1. 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.

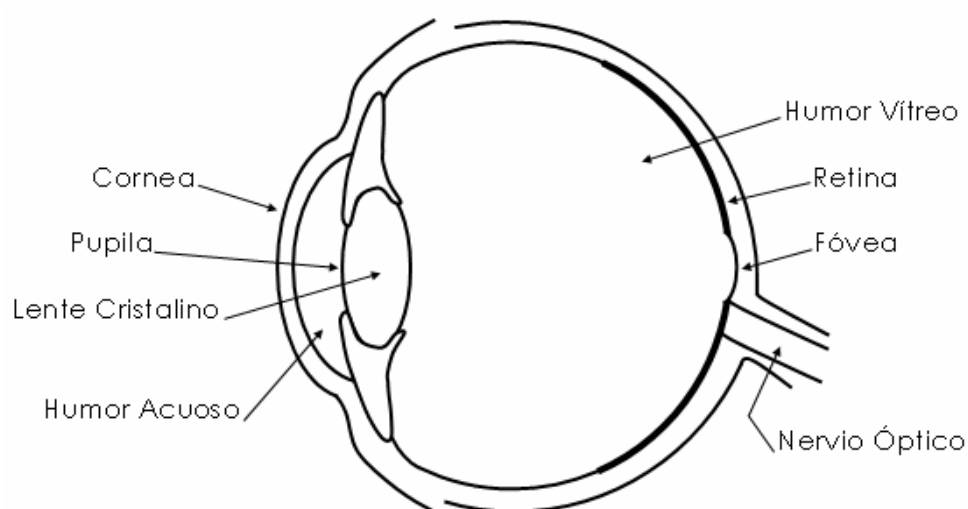


En gran parte, la habilidad del ojo para enfocar es proporcionada por la cornea y el lente cristalino, con poca ayuda de la pupila y los índices refractivos del humor vítreo y el humor acuoso. La cornea cubre al iris y la pupila, y proporciona cerca del 70% de la habilidad refractiva del ojo. El lente 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 las 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. El ojo se muestra esquemáticamente en la figura No. 6.



**Figura No. 6: El ojo humano**

El ojo humano es sensible a un rango relativamente estrecho de longitudes de onda del espectro electromagnético, y a un nivel mínimo de intensidad de luz. La percepción del color y el detalle varía con la intensidad de la luz y el color particular involucrado.

Los límites de la visión son: la intensidad de umbral, contraste, ángulo visual y tiempo de umbral.

- La intensidad de umbral es el nivel más bajo de brillantez que el ojo puede ver. Depende de la exposición reciente a la luz.
- El contraste es la diferencia en el grado de brillantez. El ojo es sensible al porcentaje en lugar de los cambios absolutos en brillantez.
- El ángulo visual. Es el tamaño del ángulo formado por los extremos del objeto que se está viendo. El ángulo más pequeño, es el más difícil de ver.
- El 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 los esfuerzos para ver con intensidades de luz en niveles muy bajos o muy altos, y por los esfuerzos para ver las 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.

## **2. 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 la figura No. 7, la cual consiste de 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.



**Figura No. 7: Muestra para prueba del ojo humano**

Hay 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. Por ejemplo, una persona con una visión “normal” tendría que estar dentro de 8 pies de una pantalla de 21 pulgadas para ver el detalle más pequeño.

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. Tales estudios también muestran que la distancia de observación desde cuatro a cinco veces la altura de la imagen es más deseable para el confort del observador.

El ojo es una variable crítica en inspecciones visuales, esto se debe a las variaciones en el propio ojo, así como a las variaciones en el cerebro y en el sistema nervioso. 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.

La carta es una tarjeta de 125 x 200 mm (5 x 8 pulg.) blanquecina o color grisáceo, con textos en idioma inglés arreglados en grupos con tamaño que se incrementa gradualmente. Cada grupo es de unas pocas líneas y con letras negras. En un examen visual utilizando esta carta, al personal se le puede requerir que lea, por ejemplo, las letras más pequeñas a una distancia de 30 cm (12 pulg.).

Existen otras formas más precisas para medir clínicamente la agudeza visual, las cuales involucran el reconocimiento de letras mayúsculas de tipo romana, de varios tamaños a distancias controladas.

Los requisitos exactos para el análisis de agudeza visual cercana son especificados por la empresa. Si ha sido establecida la prescripción de lentes para aprobar el examen visual, entonces el individuo debe usarlos durante los exámenes visuales subsecuentes.

Los lentes que cambian de color pueden ser un problema donde la luz ultravioleta es alta, por ejemplo, bajo algunas luces fluorescentes.

## x. **Condiciones que afectan la inspección visual**

Se ha mencionado que un factor ambiental importante que afecta las inspecciones visuales es la “iluminación”. Frecuentemente, el énfasis se pone en variables de los equipos tales como el ángulo de visión de un boroscopio o el grado de amplificación o magnificación. Pero si la iluminación es incorrecta, la amplificación no va a mejorar la imagen.

Otras condiciones, como los procesos fisiológicos, el estado psicológico, experiencia y salud contribuyen a la exactitud de una inspección visual o causan incomodidad y fatiga del inspector.

### **1. Atributos de las piezas que pueden afectar la inspección visual**

El acto de ver depende de la cantidad de luz que llegue al ojo. En inspecciones visuales, la cantidad de luz puede ser afectada por la distancia, reflexión, brillantez, contraste o limpieza, textura, tamaño y forma del objeto inspeccionado.

#### **Limpieza**

La limpieza es un requisito básico para una buena inspección visual. Es imposible obtener datos visuales a través de capas de suciedad opaca, a menos que esté examinándose la limpieza; además, al obstruir la visión, la suciedad sobre superficies inspeccionadas puede enmascarar discontinuidades presentes con indicaciones falsas.

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 crítica del color y cambio 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, imperceptible para el ojo. Por ejemplo, el color que cambia cada minuto sobre la superficie de la carne no puede detectarse por el ojo humano, pero puede detectarse por dispositivos fotoeléctricos diseñados para la inspección automática de la carne antes de enlatarla.

#### **Características de brillo (brillantez)**

El contraste del brillo es generalmente 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 incidente (lux o pie-candela de iluminación).

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 interfiere con la habilidad de la visión clara, la observación crítica y el buen juicio. El resplandor puede evitarse utilizando luz polarizada u otros dispositivos polarizados.

### **Condición**

La herrumbre, el pulido, el fresado, el lapeado, el 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. Existen comparadores de acabado de superficie, que muestran varias condiciones.

### **Forma**

Diferentes ángulos de la superficie causarán que sean reflejadas diferentes cantidades de luz hacia el ojo. La forma determina el ángulo, en cualquier superficie, en la que debe verse.

### **Tamaño**

Si el objeto es más grande que el haz de luz, serán requeridos pasos múltiples.

### **Temperatura**

El calor excesivo obstruye la vista, esto se debe a la distorsión de la onda de calor. Dado un ambiente desértico y agua en un recipiente reactor, ambos pueden producir distorsión debido a la onda de calor.

### **Textura y reflexión (reflectancia)**

La visión depende de la luz reflejada que entra al ojo. Las formas más fáciles de asegurar una iluminación adecuada es colocando la fuente de luz y el ojo tan cerca de la superficie de prueba como la distancia focal lo permita. Similarmente, un amplificador o magnificador debe sostenerse tan cerca del ojo como sea posible, asegurando que la cantidad máxima de luz del área del objetivo alcance el 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 puede requerir iluminación especial para iluminar sin enmascarar. La iluminación suplementaria debe estar protegida para prevenir el resplandor que interfiera con la vista del inspector.

Para evitar que el ojo del inspector se fatigue y para mejorar la probabilidad de detección debido al tamaño, las relaciones de iluminación en el área de inspección deben ser controladas.

La relación de luminancia máxima recomendada entre el objeto inspeccionado y un fondo más oscuro es de 3 a 1, y la relación de luminancia máxima recomendada entre el objeto inspeccionado y el alrededor más iluminado es de 1 a 3.

El resplandor directo o reflejado reduce la visibilidad y el desempeño visual, y puede ser un problema mayor que no sea fácil de corregir. El resplandor es causado por fuentes de luz o reflexiones de fuentes de luz dentro del campo de observación (visual). El resplandor produce incomodidad. El resplandor puede ser minimizado disminuyendo la cantidad de luz que llegue al ojo, para lo cual puede ser necesario:

1. Reducir la intensidad de la fuente de resplandor,
2. Incrementar el ángulo entre la fuente del resplandor y la línea de observación,
3. Aumentar la luz de fondo en el área circundante a la fuente de resplandor, u opacando o reduciendo la fuente de luz,
4. Reducir las reflexiones utilizando una fuente de luz con un área mayor y menor intensidad.

Tales soluciones son simples para implementar, ya sea para el resplandor directo de una luz suplementaria o el resplandor reflejado de un objeto inspeccionado pequeño. El resplandor producido por luz fija permanente es más difícil de controlar.

Los accesorios de techo deben montarse tan lejos como sea posible, de tal forma que se encuentren sobre la línea de observación, y deben tener protección para eliminar la luz con un ángulo mayor de 45 grados del campo visual. La iluminación para la inspección debe protegerse al menos hasta 25 grados de la horizontal. Tal protección debe permitir que llegue una cantidad suficiente de luz al área de inspección.

## **2. Factores ambientales**

Las reflexiones y sombras de paredes, techo, muebles y equipos deben considerarse. Deben ocurrir algunas reflexiones ambientales o estará muy oscura la habitación para que sea práctica.

Los valores de reflexión recomendados son: techo del 80 al 90%; paredes del 40 al 60%; pisos no menos del 20%; escritorios, bancos y equipo del 25 al 45%.

Ciertos factores psicológicos también pueden afectar 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 especialmente importante cuando se inspeccionan visualmente componentes críticos o pequeños.

En general, 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 las áreas de trabajo con altos niveles de ruido y esfuerzo físico excesivo.

### **3. 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 un tipo de alimentación informativa, por lo que las cosas percibidas pueden ser alteradas por las acciones del observador.

Como uno de los primeros pasos en este complejo sistema de alimentación informativa, la imagen se forma por el lente del ojo en 100 millones de varillas y conos en la retina, y solamente existen sobre 1 millón de fibras que pueden llevar la respuesta de estos elementos del ojo a través del nervio óptico.

Claramente, estos elementos sensibles deben estar agrupados en canales simples. Estos grupos y la distribución de las varillas y los conos cambia sistemáticamente sobre la retina. En común con otros asuntos psicológicos, pero diferente a ciencias físicas, el resultado final de la "visión" no puede medirse, solo puede ser descrito o comparado con el efecto de una experiencia similar anterior.

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.

### **4. Efectos de la salud del observador**

Existen condiciones anatómicas que pueden afectar directa o indirectamente la habilidad del individuo para ver. Por ejemplo, el Glaucoma es una enfermedad caracterizada por el incremento de la tensión intraocular, que 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 la percepción son efectos secundarios complementados por predisposición de herencia, estado emocional o factores circulatorios. En otros casos, el deterioro puede resultar directamente de una enfermedad de la estructura ocular, incluyendo tumores intraoculares, cataratas propagadas o hemorragia intraocular.

La hipermetropía es una condición en la cual el lente se endurece con la edad y hace que pierda su habilidad para enfocar.

La retinopatía diabética es otra condición que deteriora la visión normal, esta puede ocurrir ocho años después de padecer diabetes, con rasgos de efectos desde menores hasta severos. La diabetes puede llevar a cambios degenerativos en un lente desarrollado normalmente, caracterizados por la pérdida gradual de la

transparencia. Las cataratas difusas bien desarrolladas, algunas veces resultan de la diabetes, aunque también por otras causas. La condición puede reducir la visión hasta mantener solamente una percepción ligera. En ocasiones, la miopía se desarrolla en estados tempranos de cataratas nucleares, así que alguien que padezca de hipermetropía puede ser capaz de leer sin lentes correctivos. La pérdida gradual de la visión en la edad madura es característica de las cataratas y el glaucoma.

El uso prolongado de los ojos con iluminación defectuosa y una posición tensa siempre debe ser evitada. 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. Debido a cambios fisiológicos en el lente cristalino con la edad, el lente es menos sensible al proceso de acomodación con lo que el individuo es incapaz de enfocar bien dentro de la visión cercana.

La 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 comúnmente causa los mayores problemas. Debido a que el deterioro de la visión típicamente progresa lentamente, los individuos no son advertidos del problema hasta que afecta su desempeño. Cualquier individuo que necesite cambios frecuentes de lentes correctivos, quien note disminución en su agudeza visual, que tenga leves dolores de cabeza, quien ve 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.

## **5. Factores psicológicos**

### **Diferentes observadores**

La visibilidad de un objeto nunca es independiente del observador humano. Los seres humanos difieren inherentemente en la velocidad, exactitud y la certeza de ver, aún incluso 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 la visibilidad de objetos e influyen en la ejecución de tareas visuales bajo muchas condiciones.

La importancia de la actitud de un inspector no puede ser sobre enfatizada. Debido a que muchas decisiones de inspecciones visuales pueden involucrar material marginal, todas las interpretaciones deben ser imparciales y consistentes, por lo que debería



adoptarse y seguirse fielmente una política definida de procedimientos y estándares de inspección.

### **Efecto de la actitud del observador**

Una representación completa del campo visual probablemente 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 típicamente 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. Tal experiencia sensorial puede reflejar o no la realidad física.

Los datos sensoriales que entran a través del ojo son transformados irrecuperablemente por sus contextos. Una imagen en la retina se percibe diferente si su fondo o contexto cambian. Perceptiblemente, la imagen puede ser un parche oscuro en un fondo brillante que puede, en turno, parecer un parche blanco si se presenta contra un fondo oscuro. Ninguna sensación simple corresponde únicamente al área original de excitación de la retina.

Tanto el contexto de un objeto que se está viendo como la intención del observador pueden afectar la percepción. El número de objetos visibles en una escena lejana excede la descripción típica de la misma, esto se debe a que, potencialmente, se encuentra disponible para el observador 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 visual entra en la apreciación, aún con la imagen total retenida en la retina.

Si una escena u objeto se ve una segunda vez, pueden ser entendidas muchas características nuevas. Esta nueva información influye directamente 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. Un individuo puede caminar en una habitación llena de personas y ver efectivamente solo la cara de un amigo esperado. Aunque también, 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, más allá de lo más amplio, 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. Las varillas y conos sensibles son estimulados en formas que varían ampliamente de un momento a otro. La imagen mental es estacionaria para objetos estacionarios, independientemente del movimiento de la imagen óptica o, para ese caso, el movimiento de la cabeza del observador. Es muy difícil determinar como una única configuración de la actividad del cerebro puede resultar de un grupo particular de experiencias sensoriales. Una configuración visual única puede ser una relación de muchos a uno, requiriendo de interpretación compleja.

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

## **xi. Métodos de inspección visual**

La inspección visual directa sin ayuda y visual directa con ayuda está delineada en el Código ASME BPV Sección V, Pruebas no Destructivas, Artículo 9, la Inspección Visual Directa está definida como:

“(a) Inspección Visual Directa. El examen visual directo puede efectuarse usualmente cuando el acceso es suficiente para colocar el ojo dentro de 24 pulgadas (610mm) de la superficie que está siendo examinada y a un ángulo no menor de 30 grados de la superficie que está siendo examinada. Pueden ser usados espejos para mejorar el ángulo de visión”.

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

La Sección V, Artículo 9 hace mención de la Inspección Visual Remota (Indirecta). Se menciona como un sustituto para la Inspección Visual Directa de la siguiente manera:

“(b) Inspección Visual Remota. En algunos casos, la inspección visual remota puede ser sustituto de la inspección directa. La inspección visual remota puede usar auxiliares visuales tales 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 sea obtenida por la observación visual directa”.

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.

Incluir 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.

### **Distancia y ángulo visual**

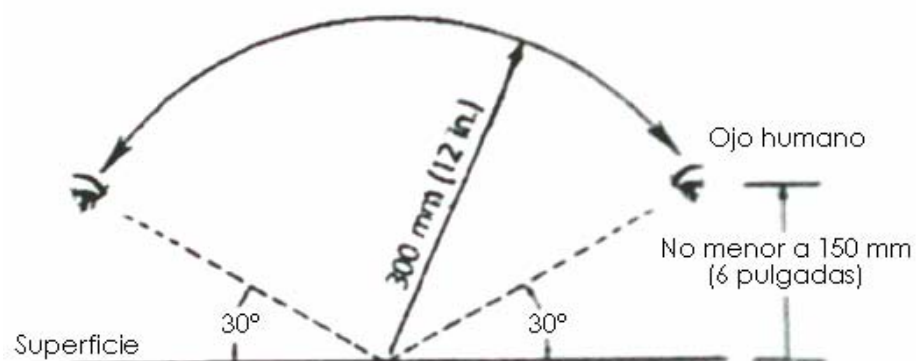
Como un asunto práctico, la distancia, entre el ojo y la superficie inspeccionada, y el ángulo de observación determinan la separación angular mínima de dos puntos que pueden resolverse (distinguirse por separado) por el ojo. Esto se conoce como “poder de resolución” del ojo.

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").

Para completar una inspección visual, el ojo se acerca al objeto de prueba para obtener un ángulo visual grande. Sin embargo, el ojo no puede enfocar en forma definida sobre un objeto si está más cerca de 250 mm (10"). Por lo tanto, una inspección visual directa debe realizarse a una distancia de entre 250 a 600 mm (10" a 24").

También, es importante el ángulo que el ojo forma con la superficie inspeccionada. Para la mayoría de indicaciones, el ángulo no debe ser menor de 30 grados, figura No. 8.



**Figura No. 8: Ángulo mínimo para inspecciones visuales típicas**



## CAPITULO DOS: EQUIPO PARA INSPECCION VISUAL

Lentes, espejos, fuentes de luz, instrumentos de medición, variedad de calibradores, etc. son utilizados como herramientas auxiliares en la inspección manual directa.

### i. Ayudas ópticas para inspección visual

La óptica explica la operación de muchas herramientas visuales y de óptica. La óptica clásica explica la manipulación de la luz por medio de accesorios mecánicos que producen una imagen para la observación humana. Estos accesorios mecánicos se pueden clasificar como espejos, lentes y prismas.

#### 1. Espejos

Los espejos cambian la dirección de la luz por reflexión. Los espejos 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.

Un espejo curvo puede considerarse como compuesto por un número infinito de espejos planos muy pequeños, a cada uno de los cuales llega un rayo de luz que se refleja de acuerdo con las leyes de reflexión.

Los espejos convexos proporcionan un campo alargado de observación de la imagen reflejada. Un espejo cóncavo o esférico tiene un reflejo hacia un punto focal, ver la figura No. 9.

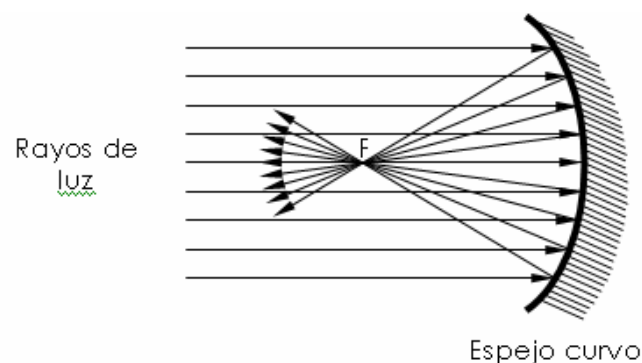


Figura No. 9: Espejo cóncavo o esférico

Si un haz de luz es proyectado sobre un espejo esférico, de tal forma que incida normal a la superficie curva, la luz será enfocada ligeramente en frente del espejo. Si por el contrario, una fuente puntual de luz es colocada en ese punto focal, la luz será reflejada desde el espejo para que sea paralela a la normal de la curva.

Un espejo cóncavo también puede ser usado para alargar imágenes. Una imagen que es más pequeña, comparada con el ancho del espejo, será reflejada más allá del punto focal, como una imagen óptica inversa y divergente.

Los espejos son invaluable para el inspector porque le permiten mirar dentro de componentes tales 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 de juegos de herramientas del inspector. Normalmente, es un juego de espejo circular pequeño montado sobre un maneral de 6" de longitud e inclinado a un ángulo de aproximadamente 45°. Le permite al inspector observar áreas que no se encuentran al alcance para observación directa.

Los espejos con extremo móvil utilizan un pivote con un brazo de control, el cual le permite al inspector observar el interior del objeto, ver alrededor de esquinas, y le permite mover el espejo para barrer el área completa de interés.

## 2. Lentes (Amplificador o magnificador)

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

Antes de continuar, en seguida se mencionan conceptos de óptica relacionados con los lentes:

- Poder de amplificación (magnificación)  
Un objeto parece incrementarse en tamaño conforme se acerca al ojo. Para determinar el poder de amplificación de un lente, se considera el tamaño verdadero del objeto cuando aparece su imagen en el ojo encontrándose colocado a una distancia de 10". El valor de 10" es usado como un estándar porque normalmente a esta distancia del ojo se coloca un objeto pequeño cuando es inspeccionado. La amplificación lineal se expresa en diámetros. La letra "X" es normalmente utilizada para designar el poder de amplificación de un lente, por 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 anterior 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 positivo convergen, después de haber sido refractados, hacia un foco sobre el lado opuesto. Para lentes de longitud focal corta, tales como los que están siendo discutidos, la luz que procede desde 30 a 40 pies puede ser considerada como paralela. Por ejemplo, la longitud focal puede ser determinada para un lente de mano, de tal forma que la luz que proviene de una ventana pase a través del lente y la imagen de la ventana u otro objeto 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.

Una vez que se conoce la distancia focal, puede ser determinada la magnificación del lente y viceversa. A una longitud focal más corta, mayor será el poder de magnificación. La distancia del ojo al lente debe ser la misma que la longitud focal.

Un lente con una longitud focal de una pulgada, por ejemplo, tendrá un poder de magnificación de 10 (10X). Esto es verdad si el lente se mantiene a una pulgada del objeto y el ojo es colocado a una pulgada de distancia del lente.

La siguiente fórmula determina el poder de magnificación:

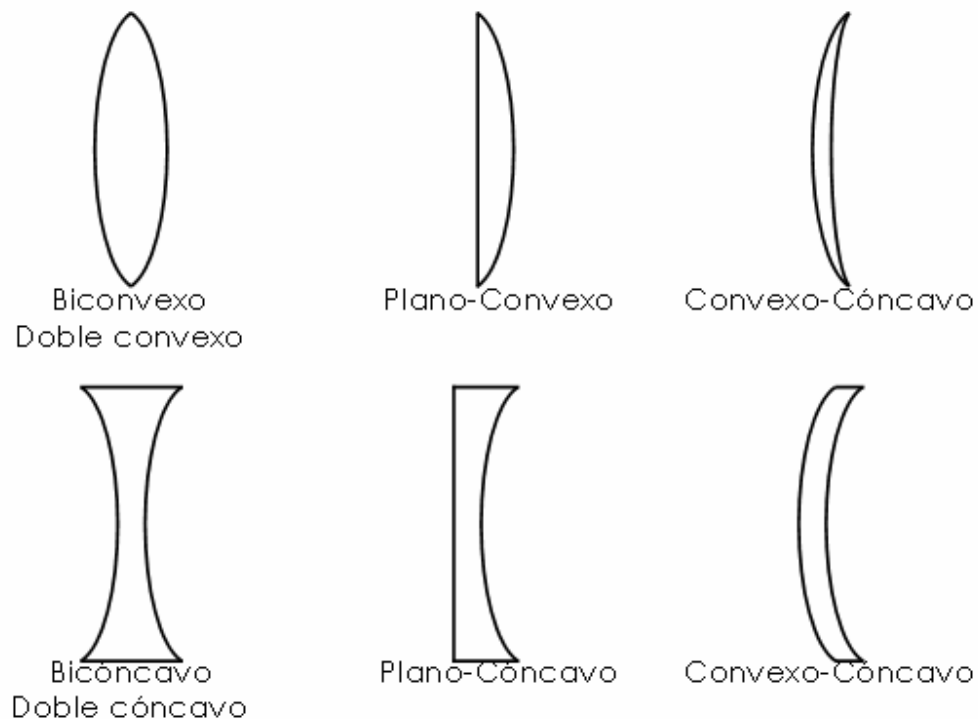
$$\text{Poder de magnificación (lentes positivos)} = 10 / \text{longitud focal (pulg.)}$$

#### a. Tipos de lentes

Los lentes convergentes enfocan la luz sobre un punto, mientras los lentes divergentes dispersan la luz. Cuando se describen los lentes, el método convencional es considerando la forma de su superficie, de izquierda a derecha, utilizando la siguiente terminología:

- Lentes planos. Describen superficies planas.
- Lentes convexos. Son lentes convergentes, son más gruesos en el centro que en los extremos (protuberantes hacia fuera).
- Lentes cóncavos. Son lentes divergentes, son más delgados en el centro que en los extremos (hundidos hacia adentro).

La figura No. 10 muestra ejemplos de una variedad de lentes. En muchas ocasiones son una combinación de ellos.



**Figura No. 10: Variedad de lentes**

El tipo más común, encontrado en el laboratorio, es el lente doble convexo. Los lentes con un lado convexo y el otro plano (plano-convexo) son usados en proyectores y microscopios.

Todos los otros amplificadores o magnificadores son lentes usados en combinación.

Los lentes que se conocen como “*delgados*”, son aquellos donde el espesor del lente es más pequeño que su longitud focal. Las propiedades de los lentes delgados se describen utilizando la ley de los lentes.

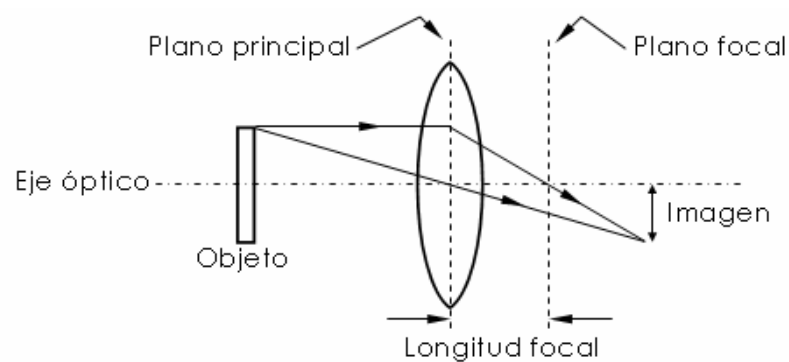
La ley de los lentes relaciona la distancia a la imagen, la distancia al objeto y la longitud focal de un lente como sigue:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{u}$$

Donde:

$f$	=	Longitud focal
$d$	=	Distancia a la imagen
$u$	=	Distancia al objeto

Entonces, un lente magnificador convergente simple, como el que se ilustra en la figura No. 11, le permite al ojo colocarse más cerca del objeto inspeccionado cuando el plano focal de la retina está en el plano focal del lente.

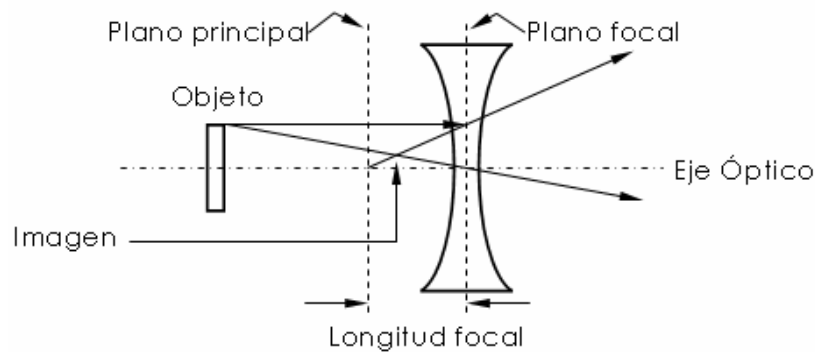


**Figura No. 11: Geometría de un lente convergente**

Los lentes divergentes difractan la luz hacia fuera, produciendo amplificación, como se muestra en la figura No. 12.

Con un lente divergente, la magnificación se incrementa conforme el objeto se acerca más al plano focal.





**Figura No. 12: Geometría de un lente divergente**

La magnificación producida por un lente divergente puede ser calculada manipulando la ley de los lentes. La magnificación es el tamaño de la imagen dividida entre el tamaño del objeto.

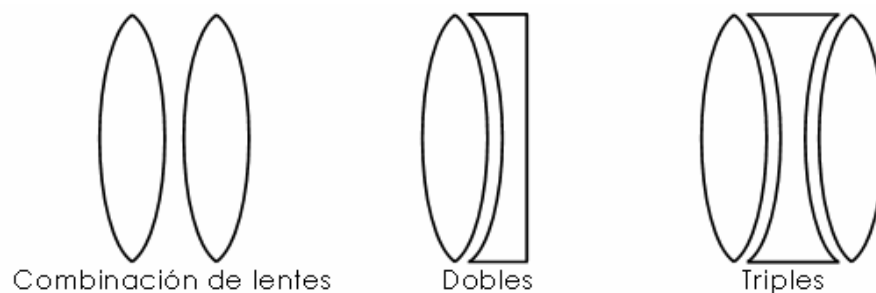
$$M = \frac{S_1}{S_0} + \frac{D_1}{D_0}$$

Donde:

$M$	=	Magnificación
$S_1$	=	Tamaño de la imagen
$S_0$	=	Tamaño del objeto
$D_1$	=	Distancia de la imagen desde el eje óptico
$D_0$	=	Distancia del objeto desde el eje óptico

Los lentes conocidos como “*gruesos*” pueden consistir de un lente sencillo grueso, combinaciones de lentes delgados o arreglos compuestos de lentes delgados, como se ilustra en la figura No. 13.

Los lentes compuestos son utilizados en la mayoría de sistemas ópticos, desde magnificadores dobles y triples hasta sofisticados lentes de amplificación (zoom) en cámaras. Los lentes compuestos proporcionan alta magnificación y control cercano del plano focal.



**Figura No. 13: Lentes compuestos**

Los lentes combinados tienen una longitud focal más corta que cualquier lente utilizado solo. Para obtener una alta magnificación, en un magnificador simple, se emplean dos o tres lentes en combinación.

Las veinte magnificaciones están cerca del máximo para estos accesorios simples. Un magnificador de 20X tendrá una longitud focal y un campo visual de cerca de 1/4 de pulgada.

## **b. Fallas inherentes de los lentes**

Existen tres diferentes fallas inherentes en todos los lentes, las cuales se pueden corregir. El grado que se logre en la 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 externas son enfocados hacia diferentes puntos (Naturalmente, la distorsión es peor en lentes de diámetros más grandes, que en los pequeños). La aberración esférica puede ser corregida por ligeras modificaciones de las superficies curvas.
3. Aberración cromática.- Este es un efecto de prisma. Cuando se descompone en diferentes colores, los rayos de luz no son enfocados en el mismo plano. Esto puede ocurrir tanto como un efecto lateral como longitudinal. Se puede corregir utilizando 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 también pueden corregir las aberraciones cromática y esférica inherentes a un lente sencillo.

El factor limitante principal 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.

En resumen, conforme el poder de magnificación de un sistema de lentes se incrementa:

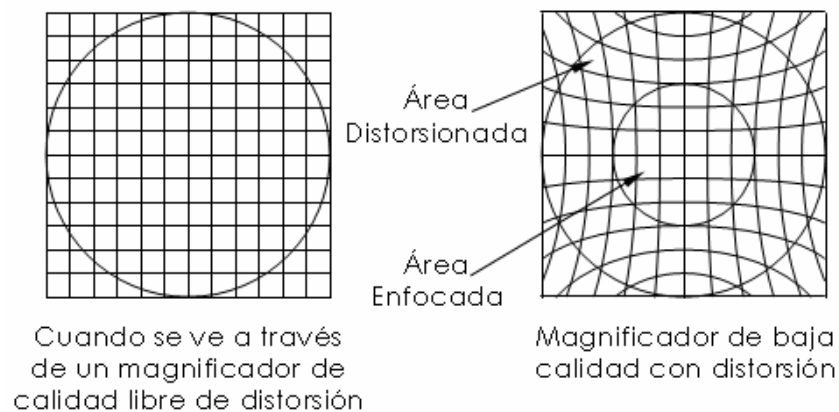
- Existen menos picos y valles en el foco al mismo tiempo
- El área que se puede observar es más pequeña
- La distancia desde el lente hasta el objeto es más pequeña (además, entre otros problemas, la iluminación del objeto es difícil)

Por eso, los magnificadores comunes que proporcionan arriba de 20X, y que están fácilmente disponibles, no son muy prácticos.

Otro factor que limita un accesorio de magnificación es la pérdida de luz debido a la reflexión.

Las superficies de los lentes pueden ser cubiertas con recubrimientos especiales anti-reflexión, para reducir la pérdida de luz, lo cual puede ser particularmente útil cuando el nivel de luz es bajo.

La figura No. 14 muestra cartas que pueden ayudar en la evaluación de alguna de las fallas de los lentes.

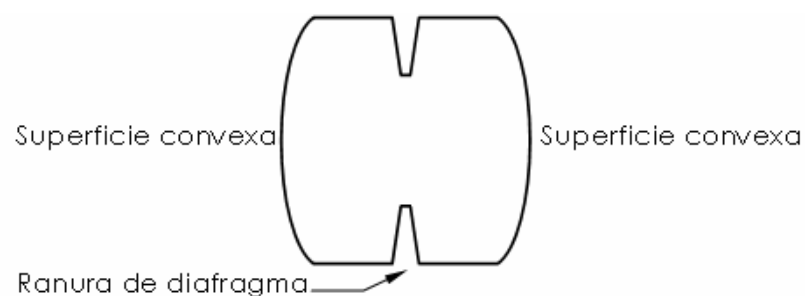


**Figura No. 14: Ayudas para evaluación de lentes**

### c. Magnificadores simples

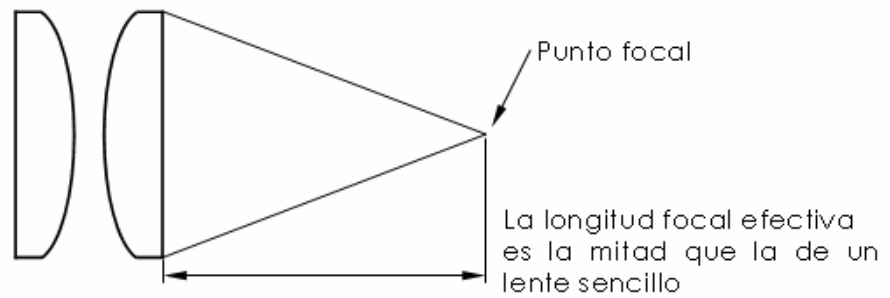
Cuando se selecciona un magnificador simple, se consideran los siguientes lentes corregidos por su calidad:

1. Magnificador Coddington.- Este accesorio utiliza un doble lente convexo con una ranura en la parte media. Esta ranura en forma de diafragma mejora la calidad de la imagen, eliminando los rayos marginales de luz, figura No. 15.



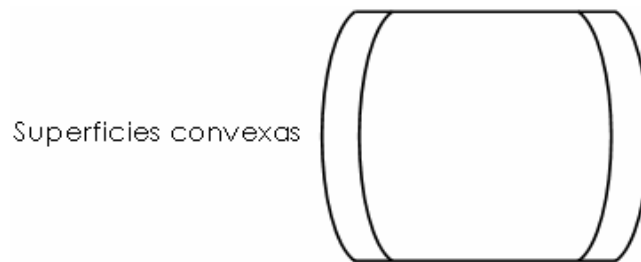
**Figura No. 15: Magnificador Coddington**

2. Magnificador doble plano-convexo.- Este magnificador de dos lentes proporciona corrección cromática parcial y un campo visual más plano, figura No. 16.



**Figura No. 16: Magnificador doble plano convexo**

3. Magnificador Hastings Triple.- Este es un lente de vidrios múltiples para corregir aberraciones esféricas y cromáticas. Este es el mejor de todos los magnificadores portátiles manuales, figura No. 17.



**Figura No. 17: Magnificador Hastings Triple**

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

Los siguientes son grupos de varios accesorios en categorías:

- **Lentes portátiles manuales, sencillos y múltiples**

Están disponibles como un lente por él mismo, un lente con un marco y maneral, o un lente que se dobla o desplaza fuera de su propia carcasa. El tipo que se dobla puede incluir uno o cuatro lentes que pueden ser usados solos o en conjunto con otro. El tamaño generalmente varía de 0.5" a 6" de diámetro.

Se encuentran disponibles con lentes de cristal o plástico. Los lentes de plástico (generalmente acrílico) son a prueba de estrellarse, pero fácilmente se rayan y no son capaces de producir correcciones del lente e igualar la calidad de los lentes de cristal. Los mejores de estos lentes son los "Hastings Triple", Coddington" y "Plano-Convexo", en este orden.

- **Microscopios de bolsillo**

Otra variedad de lentes portátiles manuales son los microscopios de bolsillo. Generalmente son tubos con diámetros pequeños, de cerca de 0.5" de diámetro y de 6" de longitud, aunque también están disponibles en diámetros mayores. Las variedades más pequeñas se ofrecen normalmente con rangos de magnificación de 25X a 60X. A estas magnificaciones, el campo visual y la longitud focal están extremadamente limitadas, de acuerdo con la luz disponible. El extremo hacia el objetivo se corta en ángulo o de alguna forma se encuentra abierto para permitir la máxima luz disponible a lo largo del soporte. En muchas ocasiones la luz auxiliar es una necesidad. Las unidades de diámetros mayores tienen bajo poder de magnificación.



**Figura No. 18: Microscopio de bolsillo**

- **Magnificadores con soporte**

Se parecen mucho a los magnificadores portátiles manuales, excepto que ellos liberan las manos para manipularlos hacia el objeto que está siendo observado. Generalmente son accesorios de bajo poder de magnificación, como los lentes portátiles manuales. Están disponibles como lentes con bases pesadas y visor móvil, y lentes que se cuelgan alrededor del cuello.

- **Accesorios de magnificación que pueden sujetarse a la cabeza** o de alguna otra forma pueden ser usados como anteojos o en conjunto con anteojos.

Estos accesorios de magnificación son de dos tipos. El del tipo visor tiene una banda que se ajusta sobre la cabeza. Esta banda de soporte tiene una base para el lente que se puede inclinar hacia arriba y hacia abajo para usar el lente cuando se necesite. El sistema de lentes puede comprender dos lentes separados o un arreglo continuo de lentes. También se encuentra disponible con accesorio de lupa para magnificaciones adicionales. Estos visores pueden ser usados con o sin anteojos. La magnificación ofrecida es generalmente baja (1.5X a 3X), pero pueden llegar a ser tan altas como 10X a 15X. Pueden ser excelentes accesorios de inspección visual porque pueden ser usados confortablemente durante periodos largos de tiempo.

El segundo tipo es la lupa. Las lupas usadas sin anteojos pueden mantenerse en el ojo utilizando los músculos del mismo ojo, como un monóculo, o están disponibles con un broche de resorte el cual se enrolla alrededor de la cabeza. Las lupas que se sujetan a los anteojos también están disponibles como un lente simple o múltiple. Pueden ser inclinadas

hacia adentro o hacia fuera para usarse fácilmente. El rango de magnificación para tales lupas es de 2X a 18X.

- **Accesorios de magnificación con fuentes integradas de luz**

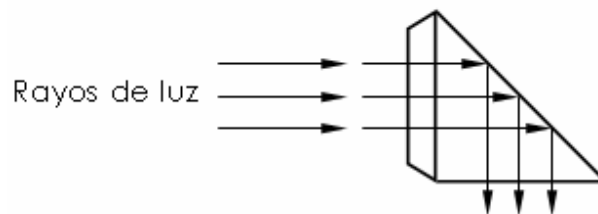
La mayoría de los accesorios de magnificación descritos también se encuentran disponibles con una fuente de luz integrada. Para poder observar los detalles, es importante contar con una buena fuente de luz, esto es particularmente importante para altas magnificaciones ya que la distancia desde el lente al objeto es demasiado corta. La mayoría de fuentes es alimentada por baterías de poder, con baterías para linternas o equipo enchufado al suministro normal de corriente. La luz es normalmente incandescente, pero también están disponibles con fuentes de luz fluorescente y luz ultravioleta.

### 3. Prismas

Sobre la mayoría de superficies, la luz que incide es parcialmente reflejada y parcialmente refractada. A un mayor ángulo de incidencia y a mayor diferencia en los índices refractivos del material, la mayor cantidad de luz será reflejada en lugar de ser refractada. El ángulo arriba del cual toda la luz es reflejada es conocido 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.

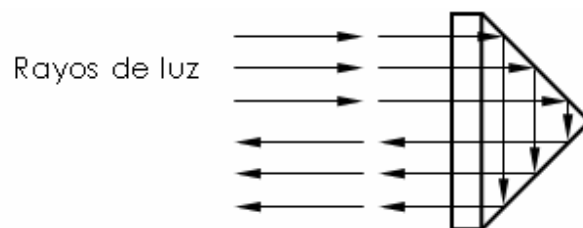
Los dos tipos comunes de prismas son:

- Prisma en ángulo recto  
El prisma en ángulo recto desvía los rayos de luz a 90°.



**Figura No. 19: Prisma en ángulo recto**

- Porro prisma  
El porro prisma produce una reflexión de 180°.



**Figura No. 20: Porro prisma**

Ambos tipos de prismas son comunes en instrumentos de óptica.

Los prismas también son usados para separar las frecuencias de una fuente de luz cromática, con base en la difracción. Ya que las dos superficies del prisma, que producen refracción, no son paralelas, la distancia del viaje que recorre la luz varía desde la parte superior a la parte inferior del prisma.

Debido a los cambios del índice de refracción con la frecuencia de la luz, las porciones de más alta frecuencia del espectro emergen desde la base del prisma.

## ii. Iluminación

### 1. 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 tales como barrenos y hendiduras profundas.

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

1. Un pedestal portátil con una bombilla incandescente puntual o de inundación y un reflector, similar a los usados por los fotógrafos. Esto proporciona una fuente de luz de alta intensidad para un área más o menos grande. Los pedestales son ajustables hacia arriba y hacia abajo, y la cabeza gira en todas direcciones. Esta es una buena fuente de luz para el registro fotográfico. Una advertencia en este tipo de luz es porque la vida de la bombilla es usualmente corta (6 horas) y genera calor considerable.

Cuando se considera tal equipo, es sabio escoger el más robusto disponible.

Dos cosas que se deben considerar son los ajustes giratorios extra-fuertes en el cabezal de luz, y un adecuado enfriamiento en la base de la lámpara. Estas luces de alto rendimiento están disponibles, pero no son tan fáciles de encontrar, como el tipo más común de luz. Son considerablemente más caras, pero valen lo que cuestan.

2. Dispositivos incandescentes de iluminación general con brazos giratorios.
3. Dispositivos fluorescentes de iluminación general con brazos giratorios.

Ambos vienen en una variedad de formas, tamaños, intensidades y tipos de brazo giratorio. Brindan menos intensidad e iluminan un área menor que las del tipo puntual o de inundación descritas anteriormente. Son buenas para áreas más pequeñas y tienen una vida más larga.

El tipo fluorescente tiene menos intensidad, pero produce menos sombras y opera en frío. Muchos de los tipos incandescentes tienen controles de intensidad variable. Estas luces también pueden usarse en conjunto con dispositivos magnificadores.

## 2. 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 utilizan un transformador ajustable y uno o más diafragmas. Se encuentran en cabezas ajustables. Estos dispositivos son más comúnmente vendidos como lámparas de microscopio.

El 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 que está siendo iluminado.

Existen otros dispositivos para alta intensidad, de iluminación localizada. Dos de estos son como las lámparas de microscopio; una usa fuente de luz de halógeno de muy alta intensidad, la otra usa fuente de luz de arco de carbón. La última ofrece la luz más brillante de todas las fuentes disponibles, pero requiere ajustes y reemplazo del arco. La tercera unidad disponible es un dispositivo de fibra óptica. Esta permite que la alta intensidad de luz sea traída muy cerca de un objeto, incluso en sitios confinados. Es excelente para la observación utilizando alta magnificación y extremado acercamiento fotográfico.

### iii. 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 algún documento de referencia.

El término “resolución” corresponde a la división más pequeña de la escala de un instrumento. Esto 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 al desgaste sobre la superficie de medición y al error por paralaje.

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.



El error de paralaje se debe al aparente desplazamiento de un objeto debido a un 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.

#### **iv. 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, entre otros propósitos, incluye verificar si los artículos cumplen con las especificaciones en dimensiones. Los dibujos y especificaciones proporcionan las dimensiones y las tolerancias disponibles.

El tipo de dispositivo de medición que debe ser utilizado es grandemente dictado por las tolerancias de diseño y la accesibilidad de la dimensión que deba ser medida. Generalmente, las dimensiones con tolerancias consideradas en fracciones pueden ser medidas utilizando reglas de acero, mientras las dimensiones con tolerancias consideradas 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 tan numerosos, incluyendo muchos que son altamente especializados, que probablemente podría escribirse un solo volumen sobre de ellos. Debido a esto, solamente aquellos que se usan más comúnmente serán mencionados.

#### **1. Dispositivos de medición lineal**

Las mediciones lineales son aquellas que involucran una sola dimensión en línea recta.

Debido a 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 al sistema métrico sea universal, los dispositivos en sistema métrico e inglés son utilizados. Es necesario saber como leer y utilizar una regla antes de proceder con otras herramientas de medición.

##### **Reglas de acero**

Las reglas son esenciales y tan frecuentemente utilizadas en una variedad de funciones que son suministradas en estilos diferentes, son los instrumentos de medición más comunes. Las reglas comúnmente son fabricadas de acero.

Las reglas de acero de 6” y 12” son las frecuentemente utilizadas, figura No. 21. Las reglas de 6”, algunas de las cuales pueden sujetarse al bolsillo de una camisa, están disponibles con varias escalas en una misma regla.

Las escalas pueden encontrarse en el sistema inglés y métrico, o ambos en la misma regla, y pueden encontrarse con subdivisiones tan pequeñas como 0.01". Estos dispositivos también pueden estar disponibles con una escuadra ajustable de 90° en el borde, para verificar la rectitud.

También, están disponibles cintas de acero, desde 6" y hasta mayores a 100 pies, las cuales pueden ser esenciales para la inspección visual.

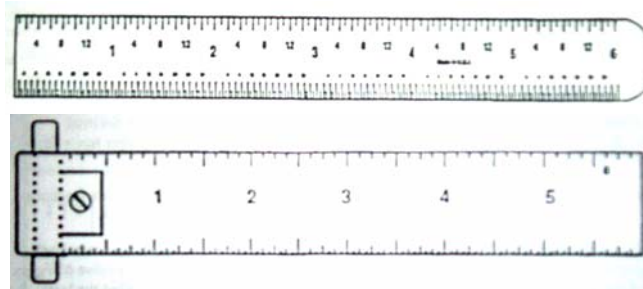


Figura No. 21: Reglas de acero

### Escala vernier

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

Uno de estos sistemas simples es la escala vernier. El sistema vernier es utilizado en varios instrumentos de medición tales 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.

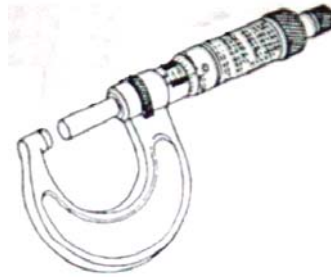
Debido a que la escala vernier es básica para una variedad de instrumentos de precisión, el entendimiento completo del vernier es un requisito para las aplicaciones y manejo de ellos.

Un vernier es una combinación de dos escalas: una escala principal y una escala vernier.

La escala principal puede estar dividida en pulgadas o en centímetros, 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, figura No 22. Son comúnmente usados para medir milésimas de pulgada, pero también existen micrómetros con los que se puede medir hasta diezmilésimas de pulgada.



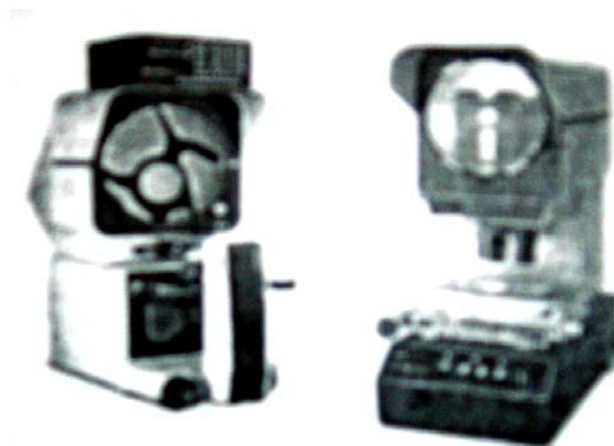
**Figura No. 22: Micrómetro**

Los micrómetros están disponibles en variedad de tamaños y formas para propósitos especiales, pero es utilizado el mismo principio para obtener las lecturas. Están disponibles 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 (las cuales normalmente son endurecidas para evitar el desgaste). Estas puntas pueden ser planas, redondeadas, puntiagudas o afiladas. Los micrómetros también pueden estar disponibles o hechos a la medida.

Se necesita un pequeño entrenamiento para usar estos accesorios, pero la experiencia produce resultados más precisos consistentemente.

### **Comparadores ópticos**

Los comparadores ópticos, o proyectores ópticos, son dispositivos excelentes para la inspección visual y la medición, figura No. 23. Un comparador óptico produce una imagen agrandada de dos dimensiones de un objeto sobre una pantalla grande de cristal translúcido. Puede usar luz reflejada o luz de fondo (o la combinación de ambas). La ampliación está disponible desde el tamaño natural hasta 50X. Las plantillas de comparación pueden ser colocadas sobre la pantalla para verificar la exactitud dimensional. Los resultados pueden ser rápidamente fotografiados.



**Figura No. 23: Comparadores ópticos**

## Calibradores

Un calibrador es un instrumento de medición que puede ser ajustado para determinar espesor, diámetro, distancia entre superficies y profundidades. El calibrador utiliza dos escalas graduadas: una escala principal similar a una regla y una escala auxiliar especialmente graduada, el Vernier, que se desliza paralelo a la escala principal y permite que sean realizadas las 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 para medir diámetro exterior e interior son el Vernier, figura No. 24, el de Carátula, figura No.25, y el Digital.

Hasta donde sea posible, las lecturas deben tomarse con el calibrador colocado en la pieza inspeccionada.

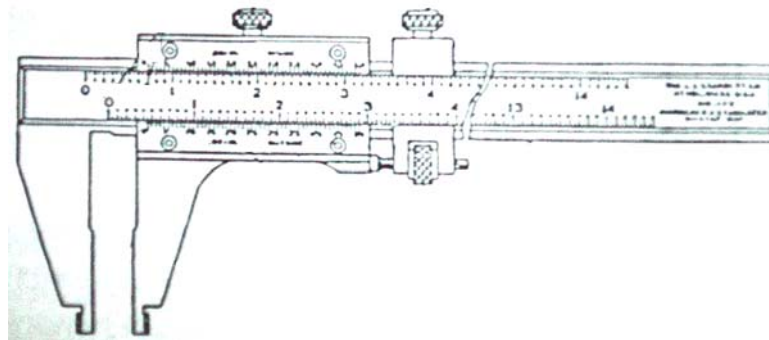


Figura No. 24: Calibrador Vernier

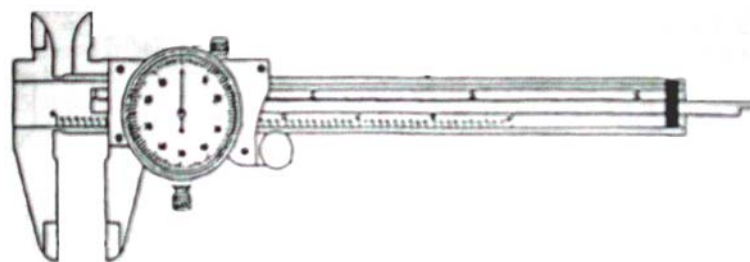


Figura No. 25: Calibrador de Carátula

## Indicador de carátula (dial)

Uno de los instrumentos más ampliamente utilizados en inspecciones y operaciones de control de calidad es el indicador de carátula. En muchas ocasiones es utilizado junto con calibradores de alturas o cuando se desea realizar un barrido de la superficie inspeccionada.

Este instrumento de medición consiste de una carátula graduada, usualmente calibrada en milésimas de pulgada, figura No. 26. Se encuentran en variedad de rangos de medición y resoluciones. Actúa por empuje, la variación de la superficie puede verse con la deflexión de una aguja indicadora. La deflexión se produce conforme el indicador o la pieza inspeccionada se mueven. Puede estar equipado con una serie de brazos mecánicos o dispositivos de sujeción, de tal forma que pueda sujetarse a un objeto fijo (rígido), con lo que 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.

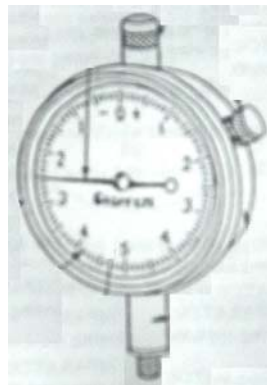


Figura No. 26: Indicador de carátula

### Calibradores especiales

Existen otros calibradores para mediciones especiales, algunos de ellos son calibradores de profundidad, calibradores para medir cuerdas o hilos, transportadores y transportadores de bisel (para medir ángulos), niveles (para medir la variación horizontal), calibradores de interior y exterior, calibradores para medir el diámetro y uniformidad de agujeros, calibradores de radios, calibradores de tornillos, calibradores de espesor (una serie de hojas de varios espesores conocidos para verificar separaciones).

Muchos de estos dispositivos son especialmente diseñados y construidos para una aplicación particular. Se encuentra disponible un surtido amplio, con muchas marcas para escoger. Es importante tener presente que la calidad no puede ser sacrificada por el costo de los dispositivos de medición.

### Calibradores para inspección de soldadura

La inspección de soldaduras de fabricación es un campo altamente especializado, que requiere un conocimiento profundo de la metalurgia de la soldadura, los procesos de soldadura, los símbolos de soldadura y de los requisitos aplicables de los Códigos de soldadura. La inspección visual de soldaduras para detectar discontinuidades superficiales y para determinar la configuración adecuada de la junta soldada se realizan utilizando fuentes artificiales de luz, espejos, reglas, magnificadores y calibradores especiales de soldadura, los cuales son usados para verificar las características físicas de las soldaduras. Algunos de estos calibradores y su uso se describen a continuación:

## 1. Calibrador “Cambridge”

El calibrador “Cambridge” para funciones múltiples, mostrado en la figura No. 27, puede ser utilizado para determinar:

- El ángulo de preparación del bisel de la junta
- El refuerzo o corona de las juntas a tope
- La profundidad de socavado
- La profundidad de picaduras
- Tamaño de la garganta en soldaduras de filete
- Longitud de la pierna en soldaduras de filete
- Desalineamiento de la junta

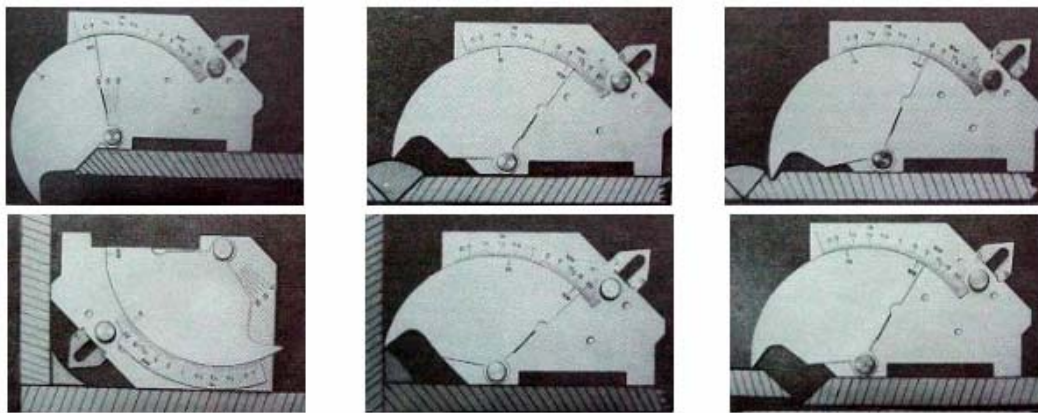


Figura No. 27: Calibradores “Cambridge”

## 2. Calibrador para soldaduras de filete

El calibrador para soldaduras de filete ofrece un medio para medir en forma rápida y precisa la soldadura más comúnmente utilizada, la soldadura de filete, desde 1/8” hasta 1”. Mide la longitud de pierna y las soldaduras cóncavas y convexas. Son calibradores muy simples pasa / no pasa, figura No. 28.

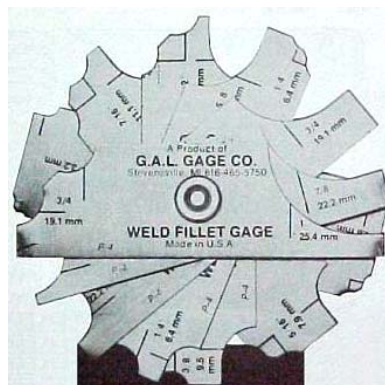


Figura No. 28: Calibrador para soldaduras de filete

### Midiendo el tamaño de soldaduras de filete convexas

Para medir una soldadura de filete convexa, se utiliza la hoja de tamaño adecuado y con la curva completa. Se coloca el borde inferior de la hoja en la placa base, y se mueve el calibrador para que la parte superior de la hoja toque el elemento superior. Una soldadura de tamaño adecuado tocará solo la punta de la hoja cuando la punta de la hoja toca el elemento superior, figura No. 29.

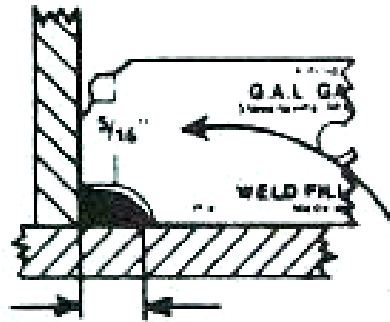


Figura No. 29: Soldadura convexa

### Midiendo el tamaño de soldaduras de filete cóncavas

Para medir una soldadura de filete cóncava, se utiliza la hoja de tamaño adecuado con doble curva.

Después de colocar el borde inferior de la hoja en la placa base, se debe tocar el elemento superior con la punta, la proyección formada por la doble curva debe tocar justamente el centro del metal soldado, lo que indicará que la soldadura tiene el perfil deseado y corresponde al tamaño indicado, figura No. 30.

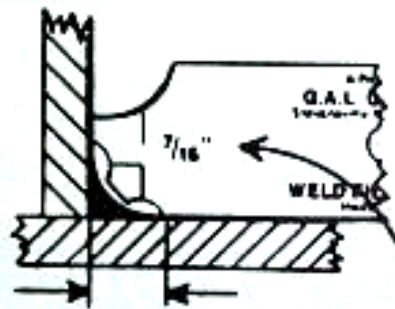


Figura No. 30: Soldadura cóncava

### 3. Calibrador "Hi-Lo"

El calibrador "Hi-Lo" está disponible en dos configuraciones básicas.

Con el calibrador "Hi-Lo" más completo, figura No. 31, se puede medir:



- El desalineamiento durante el ajuste
- La abertura de raíz de la junta
- La longitud de pierna o tamaño, en soldaduras de filete
- El refuerzo o corona de las soldaduras a tope
- El espesor de pared en uniones a tope de tubos
- Cuenta con un calibrador pasa / no pasa para el ángulo de preparación del bisel de la junta

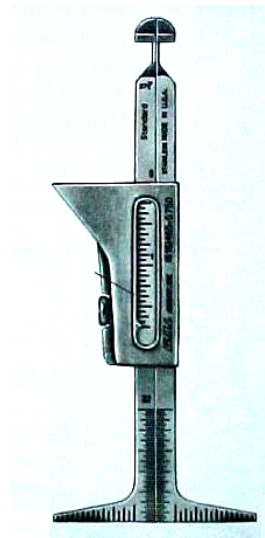


Figura No. 31: Calibrador “Hi-Lo”

### Estándares de comparación

Los estándares de comparación son estándares físicos que proporcionan una representación de las características deseadas de un objeto. Estos estándares incluyen a los calibradores pasa / no pasa, calibradores por transferencia y calibradores para cuerdas o roscas. También se incluyen estándares de comparación visual como aquellos utilizados 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 de espiga y especializados pasa / no pasa son comúnmente utilizados para verificar o ajustar espaciamentos o separaciones, para medir el “claro” entre dos superficies y para medir diámetros de agujeros.

Los estándares para rugosidad superficial son una forma barata para verificar la textura superficial producida por un proceso específico. Generalmente, se encuentran disponibles como escalas con capas verticales, horizontales o circulares para simular procesos tales como fresado, torneado, rectificado o fundición. Cada escala representa un patrón o proceso e incluye un rango de rugosidad. Los rangos comúnmente disponibles son de 0.1 a 12.5  $\mu\text{m}$  (4 a 500  $\mu\text{pulgadas}$ ) dependiendo del proceso.

Las roscas en birlos, espárragos, tuercas, extremos roscados de tubería, etc., son inspeccionados para determinar una variedad de características incluyendo 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 utilizados para verificar roscas internas y externas. Normalmente son usados en pares, donde uno es el calibrador pasa y el otro es el no pasa.

## **2. 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 comparación se realiza contra un estándar cuya exactitud tiene seguimiento con un organismo de estandarización. La calibración generalmente se documenta en un registro permanente 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 en él, dentro de un periodo establecido. Cualquier instrumento al que se le ha vencido la calibración debería ser calibrado y certificado antes de utilizarlo.

## **3. Cuidado y manejo de los calibradores**

Con el fin de 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 de dedos deben limpiarse antes de guardarlos. El cuidado debe comprender evitar rayones o golpes sobre las superficies de contacto, las caras de las carátulas y las graduaciones.

Si es necesario remover un calibrador antes de tomar una medición, debe asegurarse y debe ser retirado cuidadosamente. Un calibrador nunca debe ser forzado sobre o al retirarlo de una pieza, y la cara del calibrador no debería tallarse contra la pieza. Tallar el calibrador sobre la superficie tiende a producir un desgaste no uniforme.

Cuando sea posible, las lecturas deberían tomarse encontrándose el calibrador colocado en la pieza. No se recomienda el uso de mangueras de aire para limpiar un calibrador variable, debido a que puede forzarse polvo y humedad en las partes con movimiento.

Cuando un calibrador variable se ha caído o cuando ha sido sometido a un trato abusivo, debería calibrarse antes de ser usado. Los calibradores pueden mantenerse en cajas especialmente diseñadas, mantenerse limpios y lubricados, como sea requerido.

## **v. Dispositivos indicadores de temperatura**

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

### **Termómetros bi-metálicos**

Los 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.

Los termómetros bi-metálicos utilizan estos principios al contar con dos láminas delgadas de metal con coeficientes de expansión diferentes y laminándolas juntas. La extensión de la deflexión que toma lugar es proporcional al cuadrado de la longitud y al cambio de la temperatura, e inversamente proporcional al espesor.

El termómetro proporciona una lectura directa de la temperatura superficial de tubería o componentes. Las lecturas de la temperatura deben tomarse muy cerca del área de interés.

### **Pirómetro digital**

El pirómetro, que ofrece una lectura directa de la temperatura, es utilizado cuando la temperatura que se necesita medir 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**

Los crayones sensibles a la temperatura son frecuentemente utilizados para obtener una temperatura aproximada. Se hace una marca con el crayón sobre el metal en el área que está siendo verificada; 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. Esta medición usualmente debe realizarse dentro de 1” (25.4 mm) del metal base adyacente a la soldadura. Las marcas no deben hacerse directamente sobre la soldadura, por la posible contaminación de la misma.

El uso de cada uno de los crayones se basa en la temperatura máxima a la que se funde, por lo que podría ser necesario contar con un juego de ellos, dependiendo de las necesidades específicas.

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

## **vi. Microscopios**

Los microscopios de laboratorio normalmente se encuentran en un rango de poder desde 100X y hasta 2000X, y en algunos casos es mayor. Comúnmente utilizan sistemas de lentes compuestos con dos o más juegos de lentes separados. Es común para estos microscopios incluir condiciones para instalar una cámara fotográfica o de video. El uso de una cámara de video permite observar imágenes sobre un monitor y con ello tener un excelente medio para la documentación.

La mayoría de microscopios de laboratorio fueron desarrollados para uso médico y se basan en la transmisión de la luz a través del objeto para formar su imagen. Esto limita su uso a objetos translúcidos, en los que existe un gradiente suficiente en la cantidad de luz transmitida.

Los microscopios diseñados para proporcionar imágenes de objetos opacos tienen condiciones para que la iluminación sobre la pieza sea en forma vertical. Los microscopios metalográficos son un ejemplo común de este tipo de microscopios. Es común que las fuentes de luz para microscopios metalográficos cuenten con las condiciones necesarias para utilizar filtros que alteren el espectro o produzcan polarización, para reducir el resplandor. También, incluyen condiciones para realizar la documentación fotográfica utilizando cámaras instantáneas o de 35 mm. Las técnicas de iluminación incrementan la posibilidad de aplicar el análisis de micro estructuras en muchos materiales no metálicos y compuestos.



## CAPITULO TRES: EQUIPO PARA INSPECCION VISUAL INDIRECTA

Obviamente, los ojos son la herramienta más importante cuando se ejecuta una inspección visual; sin embargo, hay muchas situaciones donde ellos no son suficientemente sensibles, o no pueden alcanzar el área que debe ser inspeccionada. Existe un número de equipos mecánicos y ópticos disponibles que complementan a los ojos, y les permitirle realizar una inspección más completa.

El equipo comúnmente utilizado para realizar inspecciones visuales indirectas es el “boroscopio”. Los boroscopios son utilizados en ambientes industriales, donde es necesario inspeccionar áreas, que de otra forma requerirían desensamblar o desmantelar. También son utilizados en áreas que representan alto riesgo para el inspector.

Los boroscopios son frecuentemente utilizados en la inspección de turbinas de gas, estructuras aeronáuticas, reactores nucleares, partes internas de motores automotrices y líneas de conducción. Los boroscopios especializados son utilizados en ambientes corrosivos o explosivos.

Los boroscopios pueden dividirse en:

1. Boroscopios rígidos,
2. Boroscopios de fibra óptica, flexibles, y
3. Video probadores o videoscopios.

Cada tipo tiene varias aplicaciones especializadas y cuenta con diferentes mecanismos de operación.

### i. Boroscopios rígidos

Originalmente inventados para inspeccionar el cañón de los rifles y de cañones, era un telescopio delgado. Para iluminar usaba una lámpara pequeña en la punta. Hoy en día este sistema de iluminación es obsoleto debido a que es inadecuado e inseguro.

Los boroscopios modernos utilizan un sistema de luz guiada a través de fibra óptica, como en el fibroscopio. La imagen se lleva al ocular por medio de un tren óptico, figura No. 32, que consiste de un lente objetivo, en ocasiones usa un prisma, lentes de relevo y un lente ocular.

La imagen formada no es real, se dice es una “imagen aerial”, esto es, se forma en el aire entre los lentes; esto significa que es posible proporcionar una corrección visual para el observador y controlar el enfoque del objetivo con un ajuste simple del anillo de enfoque en el ocular.

Este control de enfoque extiende la profundidad de campo grandemente sobre lo que no está enfocado o fija el foco diseñado mientras, al mismo tiempo, compensa las amplias variaciones en la vista entre la población.

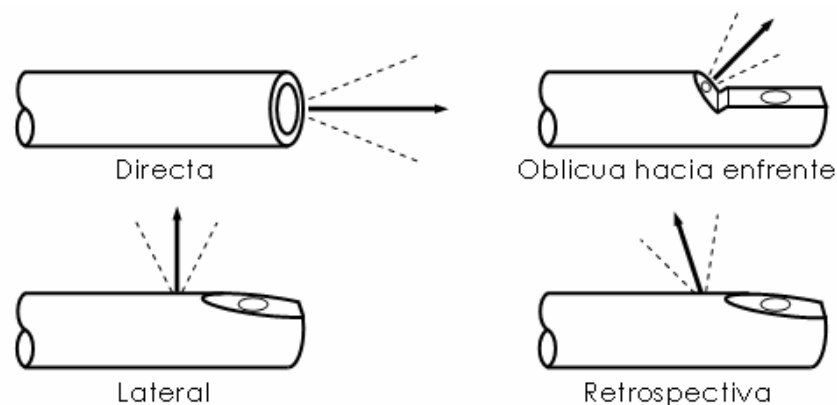


**Figura No. 32: Sistema de imagen en un boroscopio**

Ya que los boroscopios carecen de flexibilidad y de la habilidad de explorar áreas, las especificaciones con respecto a la longitud, la dirección de observación y el campo visual se hacen más críticos para alcanzar una inspección válida.

Por ejemplo, la dirección de observación siempre debe estar especificada en grados, mejor que en palabras o letras; las tolerancias también deben estar especificadas. Algunos fabricantes consideran que el ocular sea de cero grados y que tenga un alcance en la observación directa de 180 grados; otros fabricantes comienzan con que el alcance de la punta sea de cero grados y que cuenten con un lente objetivo hacia atrás.

La figura No. 33 ilustra la variedad de puntas disponibles en los boroscopios con respecto a la dirección de observación.



**Figura No. 33: Dirección de observación de las puntas de boroscopios**

Para encontrar la dirección y el campo visual, se debe colocar una escala transportadora sobre una tabla o mesa de trabajo.

Se pone la punta cuidadosamente para que quede paralela a la línea de cero, con el lente directamente sobre el centro del hueco o marca en el transportador.

Se debe recordar que el centro óptico del boroscopio se encuentra usualmente de 3 a 5 milímetros detrás de la ventana del lente. No es necesario colocarlo exactamente, un pequeño error no afectará grandemente los resultados.

Viendo a través del boroscopio, se insertan alfileres en la tabla, sobre el borde del transportador, para marcar el centro y los extremos, derecho e izquierdo, del campo visual. Este proceso simple proporciona la dirección de la observación y el campo visual, como se ilustra en la figura No. 34.

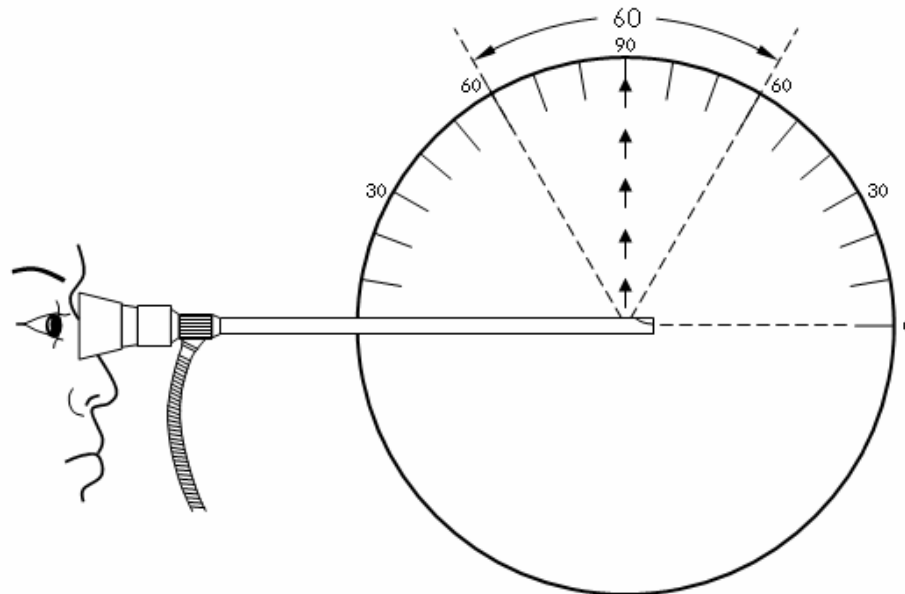


Figura No. 34: Dirección de la observación y el campo visual

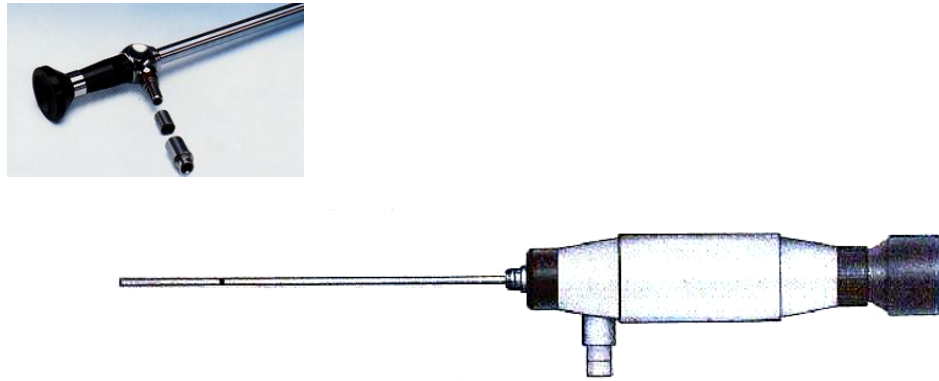
### Miniboroscopio

Una variación relativamente reciente del boroscopio rígido es el miniboroscopio, figura No. 35, en el cual el tren de lentes de relevo es reemplazado con una fibra sólida simple.

Esta fibra difunde iones en una ecuación parabólica desde el centro hasta la periferia de la fibra, teniendo un índice determinado de refracción. La luz que pasa a través de la fibra gira y, a intervalos específicos, forma una imagen.

La fibra sólida es de aproximadamente 1mm de diámetro, lo que hace posible que los boroscopios delgados de 1.7 mm a 2.7 mm de diámetro tengan muy alta calidad, lo que sería imposible usando tren de lentes.

La apertura del lente es tan pequeña que el lente tiene una profundidad de campo infinita (tal como en una cámara), por lo que no se requiere de algún mecanismo de enfoque.



**Figura No. 35: Miniboroscopios**

### **Accesorios**

Están disponibles una variedad de accesorios para los fibroscopios y boroscopios. Cámaras polaroid, cámaras de 35 mm y cámaras de cine súper-8 y 16 mm que pueden ser utilizadas para documentar la inspección.

El circuito cerrado de TV con o sin videocinta es común, aunque la TV a color no es común. También están disponibles algunos accesorios para el lente ocular, los que permiten una vista dual o en ángulo recto por conveniencia donde la distancia sea mínima.

### **Iluminación**

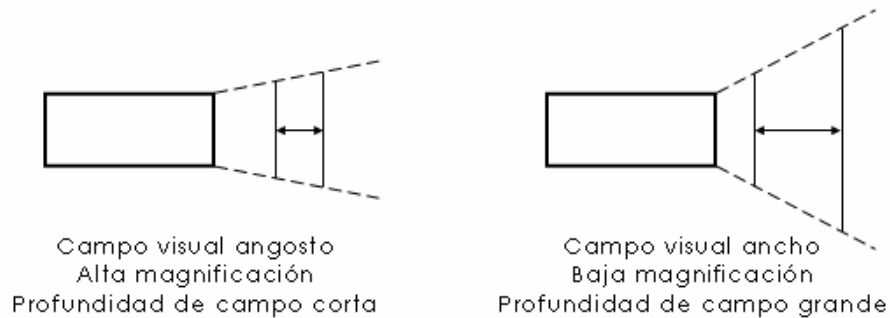
Debido a las limitaciones del ojo humano, los diseños ópticos más finos casi no tienen valor si no existe iluminación adecuada. En la mayoría de inspecciones con fibroscopios y boroscopios, los niveles de luz son relativamente bajos comparados con las condiciones normales de luz de día.

### **Características de funcionamiento**

La combinación de todos los factores anteriores determina las características ópticas y físicas del instrumento apropiado para cada problema particular de inspección, relacionado con el diámetro, longitud, iluminación, dirección de observación, campo visual y amplificación, resolución y profundidad de campo, por lo que son posibles cientos de combinaciones.

Sin embargo, algunas de estas características son esencialmente contradictorias, y se requiere que coincidan en momentos específicos, por ejemplo, un campo visual amplio reduce la amplificación, pero tiene mayor profundidad de campo; mientras que, un ángulo estrecho del campo visual produce una magnificación más alta, pero resulta en una profundidad de campo menor, como se ilustra en la figura No. 36.





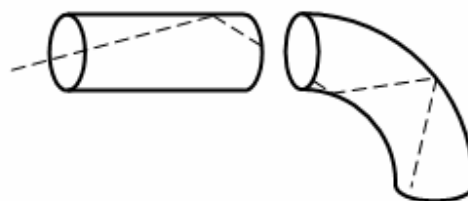
**Figura No. 36: Características de funcionamiento**

## ii. Fibroscopios

El fibroscopio industrial es un instrumento flexible. Su funda de capas múltiples protege dos paquetes de fibra óptica, cada uno compuesto de decenas de miles de fibras de vidrio. Un paquete sirve como guía de la imagen, mientras el otro ayuda a iluminar el objeto.

De acuerdo con las leyes de la física, la luz viaja solamente en línea recta; sin embargo, la fibra óptica permite doblar la luz alrededor de esquinas sin contradecir este principio básico, figura No. 37.

Cuando un cristal óptico de alta calidad se estira para formar fibras muy finas, es bastante flexible, por lo tanto, es posible transmitir luz en un camino curvo sin desafiar las leyes físicas. Tales fibras tienen solamente de 9 a 30 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro, o el equivalente a 1/10 del espesor de un cabello humano.

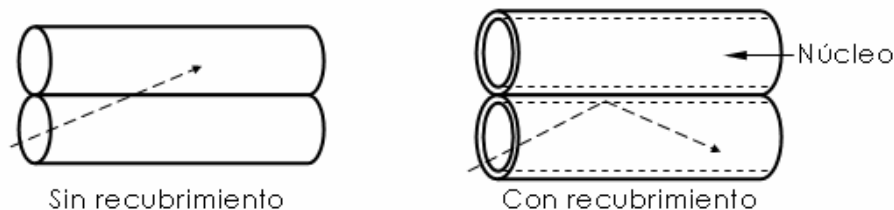


**Figura No. 37: Transmisión de la luz a través de fibra óptica**

Debido a que una sola fibra muy delgada es incapaz de transmitir una cantidad de luz satisfactoria, decenas de miles de estas fibras están ordenadas en un paquete para transmitir suficiente luz e imagen.

Con el fin de evitar que la luz sea difundida, cada fibra individual consiste de un núcleo central de vidrio óptico de alta calidad, cubierto con una capa o recubrimiento muy delgado de otro vidrio, con un índice refractivo diferente.

Este recubrimiento actúa como un espejo; toda la luz que entra por el extremo de la fibra es totalmente reflejada internamente, como si estuviera viajando, y evita que escape o pase a través de los lados de una fibra adyacente en el paquete, como se ilustra en la figura No. 38.



**Figura No. 38: Fibra óptica recubierta**

Aunque la luz es efectivamente atrapada dentro de cada fibra, no toda emerge en el extremo opuesto. Ningún sistema brinda el 100% de eficiencia, algo de luz es absorbida a lo largo del camino debido al propio medio. La cantidad de absorción depende de la longitud de la fibra y de la calidad óptica del medio. Por ejemplo, la fibra plástica transmitirá luz y es menos costosa de fabricar que el vidrio óptico; sin embargo, la fibra plástica es menos eficiente e inapropiada para utilizarla en los fibroscopios.

El paquete de fibra, llamado “guía de la imagen”, es utilizado para llevar la imagen formada por el lente objetivo a la punta posterior, hacia el lente ocular. Este es un paquete coherente, lo que significa que las fibras individuales deben estar alineadas precisamente, para que estén en posiciones relativamente idénticas cada una con respecto a sus terminaciones.

El rango de diámetros del paquete de fibras de la imagen es de 9 a 17 micrómetros. El tamaño es uno de los factores que determinan la resolución, aunque la precisión en el alineamiento es más importante.

Es significativo mencionar que una imagen real se forma sobre las dos caras pulidas de la guía de la imagen. Por lo tanto, para enfocar un fibroscopio para diferentes distancias, el lente objetivo en la punta debe moverse hacia adentro o hacia fuera, usualmente por control remoto en la sección del lente ocular. Un ajuste por separado en el lente ocular es necesario para compensar las diferencias en la vista.

El otro paquete de fibra, que no es coherente, se usa para llevar la luz, desde la fuente externa de alta intensidad, al objeto, y se le llama paquete “guía de la luz”. Estas fibras son generalmente de cerca de 30 micrómetros de diámetro. El tamaño del paquete entero se determina por el diámetro del tubo de inserción.

Cercano a la parte superior, los fibroscopios normalmente tienen una sección para controlar el tubo de inserción, para que pueda doblarse, lo que hace que el observador pueda dirigirlo durante la inspección o para que sea capaz de explorar un área interior, figura No. 39.

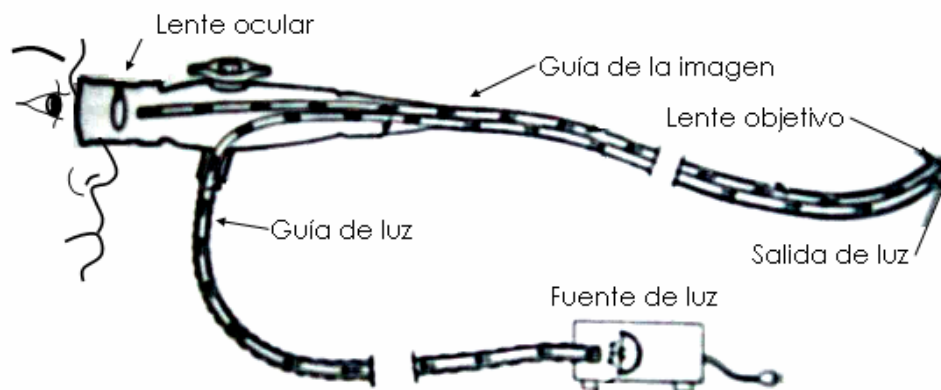
Los fibroscopios son fabricados en una variedad de diámetros, algunos son tan pequeños como 3.9 mm, con diferentes longitudes, de treinta pies o más, y con la posibilidad de seleccionar diferentes direcciones de observación. Además, en algunos casos, pueden ajustarse una variedad de herramientas para realizar varias funciones, como por ejemplo, sujetar y recuperar objetos.



**Figura No. 39: Tubos de inserción**

Los fibroscopios de buena calidad son caros, pero no obstante el costo, son muy atractivos en la relación costo-beneficio. Se usan siempre que sea necesaria la inspección alrededor de esquinas, tal como dentro de un tubo curvo, o cuando no existe un acceso disponible de entrada que permita una línea directa de observación.

La figura No. 40 ilustra como esta constituido un fibroscopio.



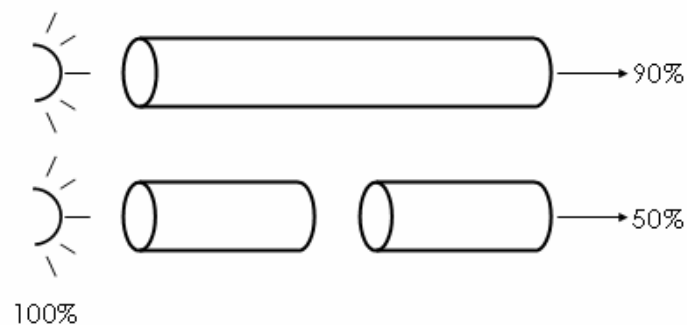
**Figura No. 40: Fibroscopio**

Afortunadamente, el paquete de fibra óptica que guía la luz es capaz de transmitir la luz de lámparas de proyección de alta intensidad de 150W o más, a través del tubo de inserción para brindar una buena iluminación. Esto es porque las lámparas pequeñas en la punta del tubo de inserción son obsoletas. Pero la fibra óptica para iluminación no resuelve todos los problemas.

Ciertas aplicaciones y objetos de prueba presentan problemas difíciles cuando la iluminación debe ser proyectada a un pie o dos dentro de una cavidad cubierta de carbón, como en la cámara de combustión de un motor grande de avión a reacción o una turbina industrial.

También, un puerto de entrada más pequeño limita el diámetro del tubo de inserción, por lo que, se reduce el tamaño del paquete que guía la luz dentro de él. Se puede imaginar que si el diámetro exterior total del tubo de inserción es de solamente 2mm ó 3mm, incluyendo el espesor de pared de la sonda, no hay mucho espacio interior para ajustar el sistema de lentes y la guía de luz.

Una forma de mantener el sistema de iluminación tan eficiente como sea posible, es haciendo que las fibras para la guía de la luz sean continuas, desde la fuente de luz hasta la punta del tubo de inserción; el 50% de la luz se pierde siempre que haya una interfase o conexión, como se muestra en la figura No 41.



**Figura No. 41: La iluminación se reduce al 50% en una interfase**

Otra forma de incrementar la brillantez es usando fuentes con lámparas más potentes. Esto no es tan simple como usar una lámpara de tungsteno de 500W en lugar de una lámpara de 150W. Por una razón, debido al tamaño mucho mayor del filamento, la lámpara de 500W no se puede enfocar hacia un punto fino en el extremo del paquete de fibra; así, cualquier ganancia en la salida es mínima.

Además, la lámpara de 500W produce tanto calor que puede derretir rápidamente el extremo del paquete de fibra y quemarlo, formando una capa de carbón que reduce la salida de luz a casi nada.

Por lo tanto, cuando se utiliza arriba de 140W, es necesario usar una lámpara de arco de mercurio o de xenón, con las que se puede producir significativamente más luz, pero requieren un suministro de alto voltaje y compleja electrónica, por lo que se tiene mayor riesgo potencial.

También, son más grandes, más pesadas y muy caras; sin embargo, pueden producir más luz cuando sea requerido en áreas extremadamente oscuras.

### iii. Video probadores o videoscopios (Inspección visual remota)

Eventualmente, la fatiga del ojo, asociada con el uso de endoscopios y fibroscopios, llevó a desarrollar varios tipos de accesorios, como cámaras o cámaras para circuito cerrado de TV, para mostrar las imágenes sobre un monitor. El primero de tales accesorios fue la cámara que contó con un dispositivo de tipo tubo. Muchos sistemas de este tipo de cámara son aún utilizados, sin embargo, son engorrosos y voluminosos, por lo que están siendo reemplazados por sensores de imagen de estado sólido más pequeños. Estos sensores de imagen son conocidos como "CCD" (charge-coupled discharge device = dispositivo de carga acoplada a la descarga).

La tecnología CCD a abierto un mundo nuevo para la tecnología de videoscopia, haciendo posible el uso de diámetros más pequeños e imágenes de alta resolución, ideales para un rango completo de aplicaciones industriales.

Ya sea que la cámara corresponda a la tecnología de tubo orthicon o vidicon o de tecnología CCD, los sistemas registran la imagen en videocintas, aunque a partir de 1990 y en el futuro, la tecnología digital será el medio de registro utilizado.

#### Sistemas de imagen

Los sistemas de imagen son utilizados en muchas inspecciones visuales y de óptica para resaltar una imagen o para retener un registro permanente de las inspecciones.

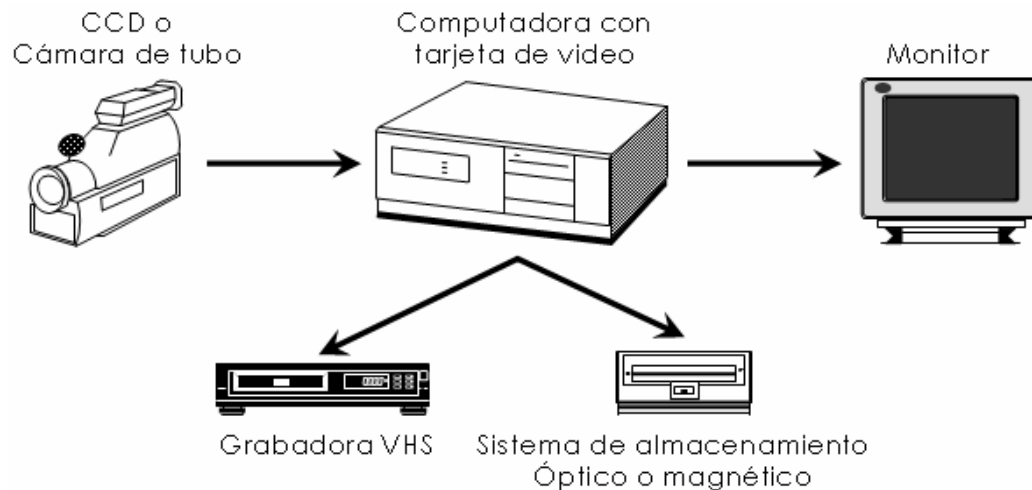
La tarea principal del video es convertir una imagen óptica de una escena dinámica en una señal eléctrica que pueda ser transmitida en tiempo real a otro lugar, y que sea convertida de regreso, sin retraso, en una imagen óptica que reproduzca fielmente la escena original. Normalmente, el sonido y la escena sincronizada acompañan a la imagen de video.

Las características principales que deben considerarse en un sistema de imagen son:

1. La imagen óptica es en dos dimensiones
2. La escena es generalmente dinámica, no es estática
3. La señal de video es transmitida a una cierta distancia sobre un canal simple o un cable
4. La señal puede necesitar que sea procesada o almacenada
5. Al recibir la señal a través del canal simple, el monitor o receptor debe restablecer inmediatamente la imagen óptica dinámica en dos dimensiones
6. La imagen sobre el monitor debe seguir fielmente la escena original en tiempo real.

Estos requisitos, el amplio atractivo de las transmisoras de TV y otras aplicaciones del video, han llevado al desarrollo de una serie de ingeniosos dispositivos electro-ópticos y electrónicos.

Un sistema completo de imagen de video incluye el hardware para la captura de la imagen, el procesado y análisis de la imagen, y la presentación y almacenamiento de la imagen. La figura No. 42 ilustra una cadena típica para el procesado de la imagen en un sistema computarizado y de televisión.



**Figura No. 42: Sistema de imagen de video**

### **Principios de las cámaras con tubo de video y de estado sólido**

Las funciones principales de la tecnología de video son capturar la imagen por medio de un dispositivo de imagen, convertir la luz en forma de señales eléctricas, presentar la imagen sobre un accesorio de visualización y almacenar la imagen por algún medio.

La forma básica de recoger la imagen es a través de la tecnología de tubos de vacío o la tecnología de estado sólido.

Después de procesar las señales electrónicas, el monitor de video es el medio más común para visualizar la imagen, con la que se puede realizar una evaluación en línea o una evaluación futura.

El balance de la cámara de video, así como de los otros componentes del sistema, afectan la calidad del video grabado. Sin embargo, ya que la imagen óptica enfocada primero debe ser capturada por el dispositivo de imagen, antes que pueda ser producida una película de video, las características del sensor de video determinan y limitan la sensibilidad y resolución del sistema completo de video.

### **Cámaras de video con tubo**

Hasta 1980 el dispositivo de imagen de video más común era el vidicon, de la familia de cámaras con tubo. Los tubos vidicon son usados en cámaras de color con tres tubos, son del tipo usado en transmisoras de TV y en circuito cerrado de televisión monocromático.

La imagen recibida por el tubo se convierte en pulsos eléctricos, lo que determina la velocidad de cuadros y la calidad de la imagen final reproducida en el receptor.

Para que el observador tenga una alta resolución, la cámara con tubo debe separar la imagen del objeto tantos elementos de la imagen (píxeles) como sea posible. Con un mayor número de píxeles en el receptor se tendrá una mayor resolución.

Las cámaras para televisión con tubo se dividen en dos clasificaciones, basadas en la forma de producir una imagen eléctrica con el tubo. El primer método se llama “foto-emisión”, en el cual los electrones son emitidos por una superficie foto-sensible cuando la luz reflejada desde el objeto es enfocada en la superficie. Las cámaras para televisión con tubo que utilizan este método se llaman “tubos de imagen orthicon”.

El segundo método se llama “foto-conducción”. En este proceso, la conductividad de la superficie fotosensible cambia con relación a la intensidad de la luz reflejada desde la superficie de la escena enfocada. Los tubos que utilizan el proceso de foto-conducción son llamados “tubos vidicon”, los cuales fueron los únicos utilizados en la mayoría de aplicaciones industriales.

### **Sensores de estado sólido**

En los últimos 20 años, las cámaras con tubo han sido reemplazadas por los dispositivos semiconductores de estado sólido. Tales dispositivos son conocidos como “CCD”. El dispositivo puede ser definido como un arreglo monolítico de capacitores semiconductores de óxido de metal, con separaciones muy pequeñas, que transfieren una carga de señal análoga desde un capacitor al siguiente.

El dispositivo CCD de imagen es un chip de silicón de estado sólido similar en estructura a una celda fotovoltaica, aunque más compleja. El chip rectangular de CCD consiste de un arreglo de miles de elementos sensibles a la luz en un patrón geométrico de 195 renglones y 162 columnas, o más de 31,000 capacitores sensibles a la luz. Estos capacitores son los píxeles o elementos de la imagen.

La tecnología de imagen CCD es un método único para generar, almacenar y convertir imágenes hacia un monitor, por medio de señales eléctricas. Un sistema de cámara CCD consiste de un sistema de lentes, un dispositivo CCD de imagen y un procesador electrónico. Los CCD son ampliamente utilizados para procesar señales en memoria digital y análoga, también para la imagen óptica.

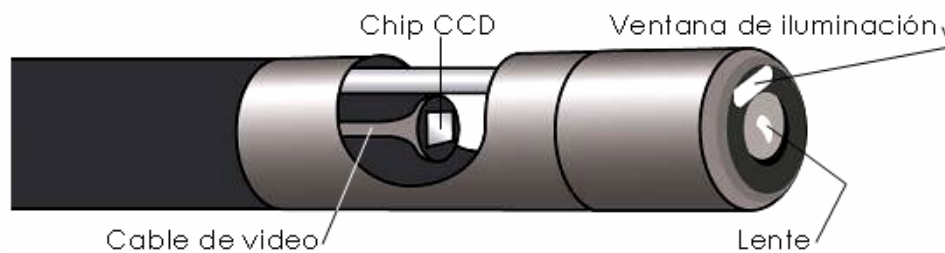
Los lentes enfocan la imagen de un objeto sobre la superficie del CCD, donde la luz es convertida en electrones.

Este fenómeno, conocido como efecto fotoeléctrico, es la base de dispositivos comunes como lámparas automáticas nocturnas y ciertos tipos de copiadoras. Los píxeles están separados uno de otro, y el número de electrones producidos en cada uno es proporcional a la intensidad de la luz enfocada sobre el píxel en particular. Esta carga diferencial contiene información necesaria para formar una imagen.

Cada píxel del CCD recolecta y almacena los electrones que son producidos. La imagen del objeto es almacenada en el CCD en forma de electrones, y no puede ser utilizada con algún fin a menos que pueda identificarse la localización y el número de electrones en cada píxel.

### El video probador

La aplicación de dispositivos CCD de imagen en los endoscopios flexibles, permitió el desarrollo del primer video-endoscopio. Un cable de video flexible de estado sólido, que es mejor en electrónica, sustituye a la fibra óptica para la transmisión de la imagen. Los sistemas CCD sensores de imagen producen mayor brillantez y mayor resolución de la imagen que los fibroscopios normales. Gracias al tamaño diminuto de los CCD, el chip de silicón puede ser colocado en la punta de un probador de diámetro pequeño, figura No. 43, capaz de pasar a través de aberturas más pequeñas. Su tecnología avanzada de microelectrónica le permite funcionar al CCD como una cámara miniatura de TV, capaz de registrar y mostrar imágenes con gran claridad sobre un monitor de video.



**Figura No. 43: Punta de un videoscopio**

La tecnología de los dispositivos CCD facilita el uso de tubos de inserción de mayores longitudes y hace posible implementar métodos avanzados en el procesado electrónico de la imagen.

Otras ventajas de la tecnología CCD son:

- No se producen puntos negros porque se rompa la fibra óptica
- Capacidad para congelar imágenes
- Facilidad para la documentación
- Versatilidad
- Durabilidad

El Video probador XL Pro está equipado con la última tecnología en video-boroscopios. Un paquete de fibra óptica ilumina el área de inspección con la luz generada por una lámpara de arco de 50W Solarc, localizada en un Procesador con la Fuente de Luz. Una cámara miniatura se encuentra ensamblada en la sección de la punta del tubo de inserción, la cual convierte la imagen óptica en imagen electrónica.



La imagen se lleva a través del tubo de inserción y es mostrada en un monitor de color de cristal líquido que se encuentra en un dispositivo de control manual. La figura No. 44 muestra un video probador, el XL Pro.



**Figura No. 44: Video probador XL Pro**

Hoy en día, algunos video probadores cuentan con la capacidad de realizar mediciones, que durante mucho tiempo fue una limitante en el uso de la boroscopia.

Varios de los modelos del video probador XL Pro pueden realizar mediciones, basándose en uno o más de los métodos siguientes:

1. Por comparación
2. Por sombra
3. Estéreo

### **Método de medición por comparación**

Este método permite realizar mediciones lineales, tomando como referencia un objeto de dimensiones conocidas.

Con base en la dimensión de referencia, se puede medir la distancia de un punto a otro punto, de un punto a una línea y por medio de un círculo.

### **Método de medición por sombra**

El software de operación se basa en la triangulación y en una sombra producida por el propio sistema de inspección. Existen tres tipos de medición por sombra:

- De distancia
- Sesgada o inclinada
- De profundidad

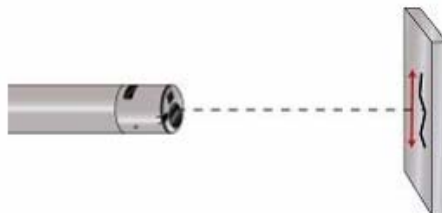
La medición en distancia y sesgada o inclinada son lineales, mientras la medición de profundidad es de la altura o profundidad de un cambio en el contorno de la superficie.

La medición por sombra se realiza con una imagen congelada o almacenada, encontrándose activada la pantalla que muestra la sombra para la medición.

Para obtener la mayor exactitud, la sombra se mueve tan cerca del lado izquierdo de la pantalla como sea posible (la sombra se mueve hacia el lado izquierdo conforme la punta del tubo de inserción se acerca hacia la superficie), se coloca una línea y los cursores, que aparecen en el monitor, lo mas exactamente posible sobre la sombra.

- Medición de distancia

Una medición de distancia es una medición lineal de objetos sobre una superficie plana, la cual, es perpendicular al eje óptico del probador, como se ilustra en la figura No. 45. La sombra aparece como una línea vertical continua, y así permanece aún cuando se gira el probador. En general, las mediciones sobre o cerca de la sombra reducen el riesgo de error causado por un ángulo de observación que no sea perpendicular.



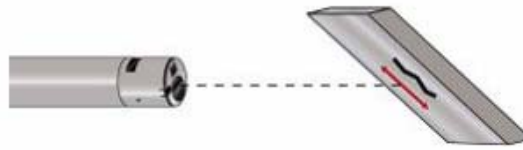
**Figura No. 45: Medición de distancia**

- Medición sesgada o inclinada

Una medición sesgada o inclinada es una medición lineal de un objeto sobre una superficie que está inclinada a un cierto ángulo, la cual no es perpendicular al eje óptico del probador, figura No. 46.

La sombra aparece inclinada, indicando que la distancia desde el probador a la superficie no es constante a través de la imagen.

La medición debe hacerse a lo largo de la sombra, por lo que la sombra debe ser alineada con el objeto que será medido antes que la imagen sea congelada.



**Figura No. 46: Medición sesgada o inclinada**

- o **Medición de profundidad**

Una medición de profundidad es la medición de la profundidad o de la altura de un objeto, determinando las distancias desde el probador a las superficies superior e inferior y calculando la diferencia. El ángulo de observación debe ser perpendicular a la superficie plana, como muestra la figura No. 47, o la medición resultante será una profundidad en diagonal más que una profundidad vertical real. Cuando los planos de las superficies son perpendiculares, la sombra aparece vertical en la imagen, y así permanece aún cuando se gira el probador. La sombra se rompe hacia la izquierda para indicar una superficie más elevada o hacia la derecha para indicar lo contrario. La medición de profundidad debe hacerse solo a lo largo de la sombra, por lo que la sombra se debe alinear verticalmente a través del cambio en el contorno antes de congelar la imagen. Cuando se realiza la medición de profundidad, se deben colocar los cursores a lo largo del centro de la sombra, sobre la superficie inferior y superior, cerca de donde se rompe la sombra.



**Figura No. 47: Medición de profundidad**

### **Método de medición estéreo**

El software de operación se basa en la triangulación y en dos imágenes producidas por el propio sistema de inspección. Como en la medición por sombra, no se requiere utilizar la referencia de un objeto de dimensiones conocidas.



## CAPITULO CUATRO: CARACTERISTICAS DE OBJETOS INSPECCIONADOS

### i. Textura superficial

La variación de una condición superficial nominal especificada es controlada por tolerancias en dimensiones y, excepto para tolerancias muy cerradas, especificaciones de rugosidad superficial.

Los rasgos distintivos superficiales de cualquier objeto, sin cáscara o costras, comparten las mismas características básicas y se describen por la medición independiente de tres de ellas: la forma, ondulación y rugosidad.

Las variaciones en la forma o perfil son típicamente controladas por especificaciones en cuanto a la tolerancia en dimensiones o geometría. El perfil de la superficie para la mayoría de tolerancias, de  $\pm 0.03$  mm ( $\pm 0.001$  pulgada) y mayores, típicamente se miden utilizando equipo dimensional estándar o comparadores ópticos, y deberían medirse con respecto a una superficie de referencia.

Cuando el objetivo es controlar la condición superficial, se controla la ondulación y la rugosidad. La variación en el perfil puede ser determinada utilizando una línea que describe la superficie promedio. Esta línea puede ser utilizada como un filtro del perfil

Cuando se mide y se reporta la rugosidad superficial, es esencial seleccionar un parámetro de medición que evalúe un valor numérico de la característica que debe ser controlada.

La rugosidad promedio o el promedio de la rugosidad es la medición de la rugosidad más antigua. Es la distancia promedio del perfil en la línea media, como se muestra en la figura No. 48.

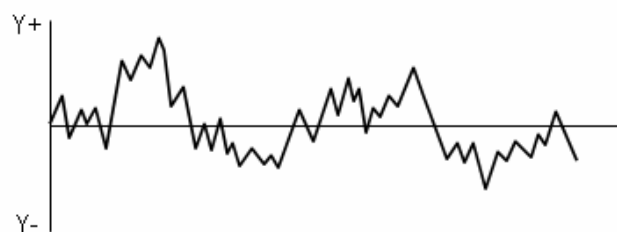
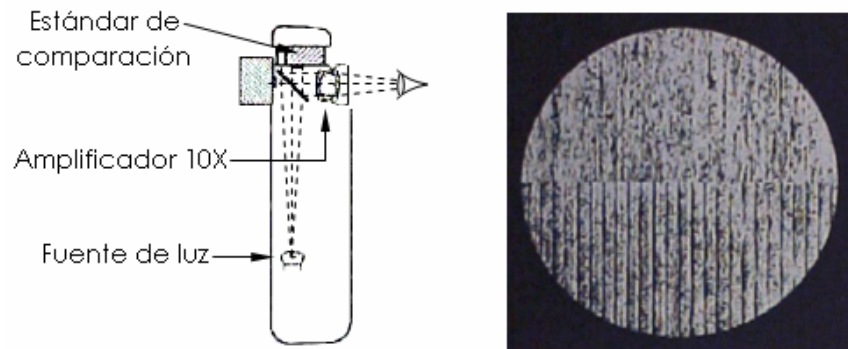


Figura No. 48: Rugosidad superficial

La medición de la ondulación y rugosidad superficial es similar y difiere principalmente en la escala utilizada. La ondulación puede ser importante sobre una superficie maquinada de sello. La ondulación se determina aplicando un filtro subjetivo para eliminar los efectos de la rugosidad y para que se pueda medir el área debajo de la curva.

La diferencia entre ondulación y rugosidad es subjetiva y debería seleccionarse con base en las características que se desean del material.

La figura No. 49 muestra un instrumento para determinar, por comparación, las irregularidades en la superficie.



**Figura No. 49: Comparador superficial e imagen observada**

La dirección de la rugosidad superficial debería ser considerada. Las superficies isotópicas son al azar, son típicamente producidas por procesos tales como fundición o cualquier tipo de desbaste abrasivo. Las superficies anisotrópicas tienen una irregularidad periódica, usualmente en una dirección, son producidas por la mayoría de operaciones de maquinado. El valor que se mide en superficies anisotrópicas cambia grandemente con la dirección de la medición.

La textura superficial normalmente se mide de acuerdo con ANSI B46.1 o ISO 1302. El estándar ANSI permite medir en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o en micro pulgadas ( $\mu\text{pulgadas}$ ).

La tabla 4.1 indica rugosidades superficiales típicas, producidas por algunas operaciones comunes de manufactura.

## ii. Color y brillo

La evaluación y medición de la apariencia del color está relacionada normalmente con la percepción del observador de la luz reflejada por el objeto inspeccionado. Esta evaluación es altamente dependiente de la fuente de iluminación y las habilidades perceptivas del observador. Los requisitos y la evaluación del color contra requisitos establecidos pueden ser muy imprecisos. Los requisitos de color pueden ser transmitidos efectivamente por comparación visual a un sistema ordenador de color o un colector de color.

Tabla 4.1: Rugosidades superficiales típicas

Proceso	( $\mu\text{m}$ ) ( $\mu\text{pulgadas}$ )	25 1000	12.5 500	6.3 250	3.2 125	1.6 63	0.8 32	0.4 16	0.2 8	0.1 4
Corte con flama										
Corte con següeta										
Torneado, taladrado										
Fresado										
Esmerilado										
Pulido										
Súper-acabado										
Fundición de arena										
Rolado en caliente										
Forjado										
Molde permanente										
Extrusión										
Rolado en frío										
Estirado										

El color también puede ser evaluado cuantitativamente. Cuando son utilizados instrumentos de medición para medir color, debe ser duplicada la percepción del color por un observador humano. Los accesorios para medir color deben ser calibrados y mantenidos adecuadamente porque son afectados por las variaciones en temperatura y humedad. Los equipos utilizados para la medición del color son: espectro colorímetros y colorímetros.

El brillo o reflectancia, es una medición de la reflectancia especular o como de un espejo.

La reflectancia se mide comparando la luz reflejada por la pieza inspeccionada contra la reflexión producida por un difusor perfecto, una superficie plana perfectamente reflectora que es iluminada y observada al mismo ángulo que la pieza inspeccionada. El ángulo de iluminación y el ángulo del receptor deben ser iguales. La mayoría de mediciones se realiza a un ángulo de  $60^\circ$  de la superficie normal. Para superficies altamente brillantes, tales como con pinturas automotrices, la medición se realiza a  $20^\circ$ .

### iii. Geometría

Las características físicas de un objeto (forma, perfil, orientación, localización y tamaño) deben ser controladas. Los dibujos de los objetos deben especificar los atributos de cada una de las características incluyendo tolerancias.

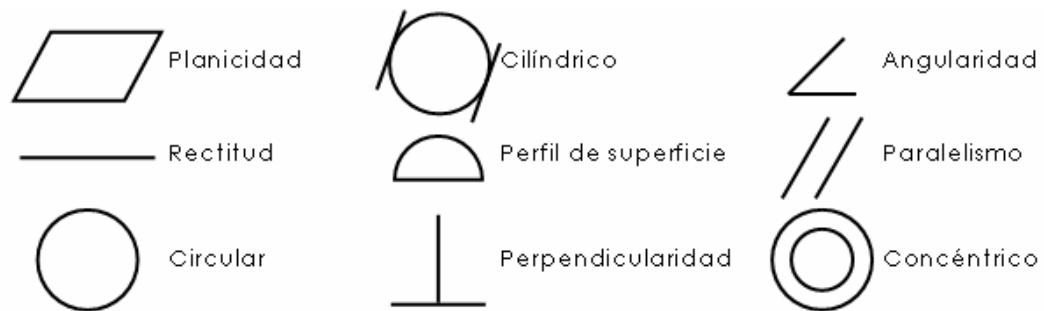
Los métodos más efectivos para especificar requisitos y para evaluar las variaciones es utilizando técnicas de tolerancias geométricas. Los requisitos en tolerancias son considerados en ANSI Y14.5M, que es utilizado para especificar dimensiones y tolerancias.

El entendimiento y uso de estándares proporciona ciertos beneficios, por ejemplo, las controversias durante la manufactura e inspección se reducen cuando se aplican los requisitos de diseño consistentemente.

Las características de una pieza normalmente son controladas estableciendo puntos de referencia que sirven como puntos cero o de orientación, pudiéndose crear un sistema de coordenadas X, Y, Z.

Las tolerancias establecidas en cuanto a la orientación de un objeto incluyen requisitos de perpendicularidad, angularidad o paralelismo. Las tolerancias en cuanto a la forma de un objeto incluyen requisitos de planicidad, rectitud, configuración circular o cilíndrica.

La figura No. 50 ilustra una variedad de símbolos utilizados para establecer tolerancias geométricas.



**Figura No. 50: Símbolos de tolerancias geométricas**

Las tolerancias para el perfil incluyen requisitos para el perfil de una línea y el perfil de una superficie. Los perfiles pueden ser especificados como características individuales, solamente relacionadas con ellas mismas o como características relacionadas, donde se especifica en términos de otra característica o referencia.

Las características en tamaño son simplemente etiquetadas con el tamaño definido, el cual puede especificarse como una dimensión lineal, diámetro, radio, ángulo, etc. Las tolerancias se expresan como límites directos sobre la característica, como tolerancia geométrica, nota en el dibujo o en un bloque general de tolerancias. La tolerancia directa se establece anotando el valor adyacente a la característica de interés, la tolerancia se especifica con límites de dimensiones, expresando el límite mayor y menor directamente o con la dimensión nominal y el rango aceptable son los símbolos más y menos.





## CAPITULO CINCO: DISCONTINUIDADES EN LOS MATERIALES

### i. Discontinuidades inherentes, de proceso e inducidas en servicio

La mayoría de aplicaciones de inspección visual y remota envuelven formas de productos fabricados con metales, por ejemplo tanques, recipientes, tuberías, tubos, formas estructurales, etc. El concreto, la fibra de vidrio, aleaciones, cerámicas, madera, plásticos, etc. también son materiales comunes, pero ellos no serán discutidos.

En la aplicación de las Pruebas no Destructivas, las discontinuidades en metales se clasifican históricamente en un sistema convencional, para identificarlas con relación a su fuente de origen en:

- a) Inherentes.- Producidas durante la solidificación desde el estado líquido
- b) Proceso.- Formado inicial o primario
- c) Proceso.- Formado final o secundario
- d) Servicio

**Discontinuidades Inherentes-** Este grupo de discontinuidades está presente en los metales como resultado de su solidificación inicial desde el estado líquido, antes de cualquier operación para forjarlo o rolarlo en tamaños y formas útiles. Son proporcionados los nombres de estas discontinuidades inherentes y sus fuentes de origen.

**Discontinuidades de proceso primario-** Cuando los lingotes de acero son trabajados en tamaños y formas útiles como billets y forjas, pueden aparecer algunas de las discontinuidades inherentes. Los procesos de rolado y forjado pueden, ellos mismos, producir discontinuidades, las cuales, en muchos casos, constituyen defectos. Aquí se considera a los procesos primarios como aquellos en los que se trabaja el metal, lo mismo con deformación en frío o en caliente, en formas útiles tales como barras, varillas y alambres, y formas forjadas.

#### **Discontinuidades de proceso secundario**

1. Maquinado o mecanizado- Durante verificaciones de maquinado o mecanizado
2. Rectificado- Grietas por esmerilado
3. Tratamiento térmico- Durante verificaciones después de la aplicación de calor

**Discontinuidades de servicio-** La cuarta clasificación fundamental de las discontinuidades comprende aquellas que se forman o producen después que toda la fabricación ha sido completada y la parte ha entrado en servicio.

## 1. Discontinuidades Inherentes

### Discontinuidades en los lingotes

Algunas de las discontinuidades encontradas en los lingotes son categorizadas de la siguiente forma:

**Grieta (Cracking)**- Esta puede ocurrir longitudinalmente o en un plano transversal. El agrietamiento longitudinal puede indicar temperaturas excesivamente altas de vaciado y dendritas burdas. Estas pueden causar problemas más tarde en reducciones subsiguientes. Las salpicaduras en la superficie durante el vaciado pueden producir grietas transversales. Otras causas de agrietado son los moldes raídos y los retrasos largos entre verter y quitar. Tal agrietamiento puede ser observado durante la inspección visual, pero en ocasiones aparece en operaciones subsecuentes de rolado.

**Costra (Scabs)**- Estas son condiciones superficiales en los lingotes, causadas por salpicaduras del metal fundido caliente sobre la superficie del molde, de tal forma que al solidificarse y oxidarse no vuelven a fundirse en el lingote. Si la costra no se remueve por un acondicionado del lingote, producirá defectos en operaciones posteriores de formado.

**Pipe (Tubería o Conducto)**- Esta es una cavidad formada por la contracción durante la última etapa de la solidificación del metal fundido, o por movimiento antes de la solidificación.

**Porosidad** Son hoyos o huecos producidos durante la solidificación del lingote, causados por la desoxidación y por gas que queda atrapado.

**Inclusiones no metálicas** Todos los aceros contienen más o menos sustancias de naturaleza no metálica. El origen de tales sustancias se debe principalmente a los materiales que se añaden para la desoxidación del acero fundido dentro del horno, en el cucharón o en el molde del lingote. Estas adiciones son metales que se oxidan fácilmente como el aluminio, silicio, manganeso y otros. Los óxidos y sulfuros de estas adiciones constituyen la mayor cantidad de las inclusiones no metálicas.

La figura No. 51 ilustra algunas de estas discontinuidades inherentes, típicas de los lingotes.

El proceso moderno de fundición continua para formar materiales elimina muchas de estas discontinuidades que se forman en los metales, pero muchas aplicaciones de la inspección visual son en metales formados por el método de alto horno, hogar abierto, horno eléctrico y el vaciado dentro de un lingote antes de darle forma. El trabajo en caliente del lingote en formas secundarias como tochos, planchones y billets puede causar discontinuidades en los metales.

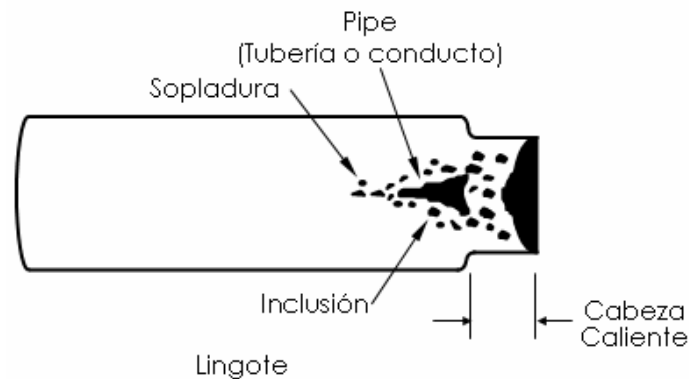


Figura No. 51: Discontinuidades inherentes

## 2. Discontinuidades de proceso primario (Formas mayores)

### Discontinuidades en tochos, planchones y billets.

Las siguientes se consideran dentro de esta categoría:

**Grietas**- Pueden resultar por las grietas que no fueron removidas de los lingotes o que no fueron observadas antes de la deformación en caliente. Pueden producirse tanto por temperaturas muy altas en el rolado en caliente o muy frías en el rolado en frío, y pueden resultar en el acero con alto contenido de azufre (fragilidad caliente).

**Costras**- Ocurren durante la producción del lingote, pero puede ser visible solamente hasta que se realiza la reducción en caliente.

**Costuras (Seams)**- Resultan de grietas alargadas en el lingote, ocurren durante la deformación en caliente. Las grietas transversales de los lingotes producen costuras en forma de "Y" durante la deformación en caliente. Otras discontinuidades superficiales de los lingotes pueden producir una serie completa de ranuras lineales o grupos de costuras.

**Acero quemado**- Producto del sobrecalentamiento localizado severo, causado por el impacto de una flama, la que produce oxidación en los bordes de grano, generalmente el acero no se puede rescatar.

**Material extraño en el rolado**- Ocasionalmente, objetos tales como tuercas y pernos que se sueltan del equipo de rolado y ruedan sobre el producto. Escamas, escorias y varias partes no metálicas también pueden ser roladas y aparecer como discontinuidades superficiales.

**Traslapes (Laps)**- Son proyecciones del rolado que se doblan y son roladas sobre el producto, pero que no son soldadas debido a la oxidación.

Estas discontinuidades pueden ser vistas en los productos de proceso primario aunque con apariencia distorsionada. Generalmente, estas discontinuidades de los materiales en bruto, podrían provocar que el material sea rechazado en procesos posteriores en los productos terminados.

El inspector visual puede ver estas condiciones en el producto final aunque cambien de forma, por lo que debería ser advertido de ellas.

### **Procesos primarios (Formado inicial)**

El proceso de formado al que es sujeto el lingote determinará como afectarán estas discontinuidades inherentes al producto terminado.

Existen cinco métodos básicos para producir productos conformados, ellos son:

- Forjado
- Laminación
- Estirado
- Extrusión
- Perforado

Cada uno de estos métodos puede afectar las discontinuidades inherentes si alguna de ellas está presente. También, cada proceso tiene el potencial para añadir nuevas discontinuidades al producto terminado.

- Discontinuidades de forjado

Las forjas, cuando son muy grandes, no son de formas muy complejas. Pueden ser inspeccionadas visualmente sin equipo visual complejo. El forjado normalmente se realiza a altas temperaturas, así que puede encontrarse oxidación dentro de la discontinuidad.

Las discontinuidades del proceso que un inspector visual podría detectar en una forja son:

- a) Traslapes (Laps)
- b) Líneas de flujo (Flash Lines)
- c) Estallido o reventón (Bursts)
- d) Grietas (Cracks)

Aunque también podrían ser detectadas discontinuidades inherentes causadas por pipe, porosidad o inclusiones, si el proceso de forjado las mueve a una superficie expuesta de la forja. Para que sea detectada una discontinuidad, el factor limitante en la inspección visual es que debe aparecer sobre una superficie accesible.

Es muy importante la planeación de la inspección visual durante el ciclo de manufactura, para dar oportunidad de ver las superficies terminadas.

**Traslapes-** Durante las operaciones de forjado, el manejo inapropiado del espacio entre los dados puede causar que el metal fluya a través de él, con lo que se formarán traslapes o pliegues de forja, que más tarde se aprietan fuertemente. Ya que se encuentra en la superficie y se oxida, el traslape no se suelda, figura No. 52.

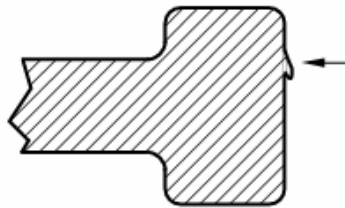


Figura No. 52: Traslape de forja

**Desgarres en las líneas de flujo-** Las grietas o desgarres a lo largo de las líneas de flujo de la forja son usualmente causadas por una condición inapropiada del flujo. Si son poco profundas se pueden “limpiar” si la pieza es maquinada o mecanizada, y no será una pieza defectuosa; o, pueden ser muy profundas para limpiarlas y en ese caso la forja no puede salvarse. Tales grietas o desgarres pueden encontrarse fácilmente por partículas magnéticas.

**Estallido o reventones-** Cuando el acero se trabaja a temperaturas inapropiadas está propenso a agrietarse o fracturarse. Una reducción muy rápida o muy severa de la sección también puede causar estallidos o grietas. Tales rupturas pueden ser estallidos internos, o pueden ser grietas en la superficie las cuales pueden observarse si son lo bastante severas.

**Grietas-** Son diferentes al traslape ya que las grietas siguen la distribución de esfuerzos dentro de la forja mientras que el traslape no. Una grieta en forma de U requiere esfuerzos para que sea distribuida singularmente dentro de la forja. Los traslapes y las grietas pueden aparecer en la superficie de la forja como indicaciones finas, dentadas, puntiagudas o lineales.

- Discontinuidades de rolado

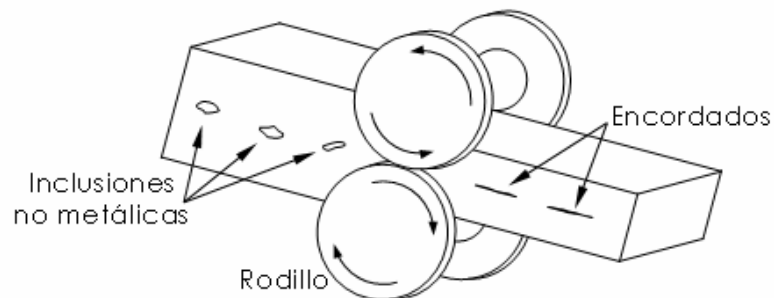
Los productos rolados son más comúnmente encontrados en muestras visuales. Una lista de todos los productos manufacturados que contienen materiales rolados llenaría un libro. El inspector visual debe familiarizarse con los procesos de rolado en los que puede visualizar la operación que formó el producto, esto le ayudará a identificar muchas discontinuidades con base en su localización sobre la parte.

Las discontinuidades de proceso encontradas en productos rolados, tales como desgarres y grietas, exhiben características similares a algunas discontinuidades del forjado, incluyendo el que pueden contener oxidación.

Las discontinuidades inherentes tales como pipe, inclusiones y agujeros de gas son afectadas por el proceso de rolado. Usualmente pueden formar discontinuidades en forma laminar con sus dimensiones mayores paralelas con la dirección del rolado. Cuando cualquiera de estas discontinuidades se mueve a una superficie del producto rolado, se puede formar una costura, encordado o grieta.

- a) Las costuras (seams) también pueden ser causadas por el plegado o doblez del metal, debido al rolado inadecuado o por un defecto en el rodillo. Las discontinuidades presentes se alargan en la dirección del rolado.
- b) Los encordados (stringers) se forman en el proceso de rolado por las inclusiones no metálicas presentes en el lingote. Las inclusiones son paquetes de materiales extraños en el lingote. Cuando el lingote es rolado, su diámetro se vuelve más pequeño y se alarga. Las inclusiones no metálicas también se estrechan y se alargan, figura No. 53.
- c) Las grietas (cracks) ocurren cuando las áreas delgadas son esforzadas durante el proceso de rolado y alivian el esfuerzo por medio de la ruptura (grieta).

Las costuras, grietas y encordados aparecen en cualquier parte de la pieza rolada. Las costuras y encordados siguen la dirección del rolado.



**Figura No. 53: Encordados**

Las grietas causadas por porosidad que alcanza la superficie de la pieza durante el proceso también siguen la dirección del rolado. La inspección visual de productos rolados es complicada por el hecho que son fabricadas muchas estructuras complejas con componentes en forma de placa y formas roladas.

La inspección visual de productos rolados debe realizarse antes de cualquier operación de fabricación que pueda esconder porciones de la placa o de la forma.

- Discontinuidades de estirado, extrusión y perforado

Las discontinuidades asociadas con estos procesos son todas visibles en la superficie de la parte.

Si está presente alguna discontinuidad en un producto estirado, usualmente será grande. Debido a que la mayoría de productos estirados tiene paredes delgadas, la discontinuidad normalmente aparece rompiendo la pared a través.

Las extrusiones pueden tener lo que se conoce como superficie rasguñada. Esto significa que la superficie aparece rallada y rasgada.

La tubería perforada puede contener pepitas de metal que son fácilmente identificadas. La pepita usualmente deja marcas severas de muescas.

### 3. Discontinuidades de proceso secundario (Formado final)

Los procesos secundarios dan al material sus dimensiones y forma final. Las discontinuidades que se forman se describen a continuación:

**Desgarres de maquinado-** Son causados porque el metal debajo de la herramienta es jalado, cuando no está cortando limpiamente. Los aceros de bajo carbono, suaves y dúctiles, son más susceptibles a este tipo de daño que los aceros duros, con alto contenido de carbono, y otros tipos de aleaciones. Los desgarres por maquinado son superficiales y son fácilmente encontrados con partículas magnéticas.

**Grietas por tratamiento térmico-** Cuando el acero se calienta y se enfría súbitamente para endurecerlo, o es tratado térmicamente de otra forma para producir propiedades deseadas para la resistencia a esfuerzos o desgaste, pueden ocurrir grietas si la operación no es adecuada con el material y la forma de la pieza. Lo más común son las grietas de templado, causadas cuando las partes son calentadas a altas temperaturas y enfriadas repentinamente al sumergirlas en un medio frío, que podría ser agua, aceite, incluso aire. Tales grietas a menudo ocurren en lugares donde la parte cambia de sección, de ligera a pesada, o en filetes o muescas en la pieza.

Los cambios de sección y la raíz de las roscas son puntos en los que probablemente se pueden observar grietas por templado.

**Grietas por esmerilado-** Una fuente frecuente de problemas es el esmerilado inapropiado que puede dar como resultado el agrietado superficial o partes endurecidas. Las grietas por esmerilado son esencialmente grietas térmicas y están relacionadas con las grietas por templado en muchas formas. Son causadas porque se establecen esfuerzos por el calentamiento local debajo de la rueda de esmeril, como se ilustra en la figura No. 54.



Durante el esmerilado de un metal se genera calor en el punto de contacto entre la rueda de esmeril y el metal. La rueda de esmeril caliente y expande el metal directamente debajo de ella. La rueda pasa y el área pequeña que ha sido esmerilada se enfría y se contrae.

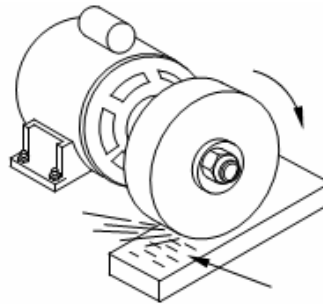


Figura No. 54: Grietas por esmerilado

#### 4. Discontinuidades inducidas en el servicio

Las discontinuidades que se desarrollan en una parte durante el servicio son generalmente de cuatro tipos:

- Corrosión general, interna y externa
- Desgaste, sólido contra sólido
- Erosión, por una corriente de líquido o por partículas en una corriente de gas
- Grieta debido a la fatiga

##### Corrosión

La corrosión es una reacción química entre un metal y el medio ambiente circundante, lo que resulta en un deterioro y posible falla del metal. La corrosión es un proceso que involucra una reacción de oxidación (anódica) y una reacción de reducción (catódica), por lo que necesita oxígeno para que proceda.

En ocasiones, la corrosión se combina con otros tipos de ataque como la erosión y la fatiga lo que produce un ataque más severo que cada uno de ellos por si solo. Existen diferentes tipos de corrosión, cada uno con evidencias visibles únicas. Los tipos de corrosión incluyen:

- a) **General / Uniforme.** Consiste en el ataque y pérdida uniforme de material sobre todas las superficies expuestas. Conducida por una atmósfera agresiva para el material base. Avanza casi a la misma velocidad a través de la superficie completa, hasta que el metal se perfora o hasta que el espesor se reduce a un punto en el cual no puede soportar cargas. Su progreso y velocidad pueden medirse, con lo que se puede predecir y anticipar la vida de la tubería y equipo. Se puede controlar excluyendo la atmósfera.

Todas las otras formas son referidas como “corrosión localizada”.

- b) **Picaduras** (Pitting). Es corrosión altamente localizada ya que se concentra en áreas pequeñas y puede proceder rápidamente. El ataque es de penetración profunda, lo que puede producir la falla prematura debido a la perforación. Es más severa en materiales altamente aleados. Ocurre comúnmente en soluciones estancadas, debajo de depósitos o en hendiduras donde se puede formar uno de varios tipos de celdas de concentración.
- c) **Galvánica**. Puede ocurrir cuando dos metales diferentes se unen eléctricamente en un electrolito. Ocurre un ataque acelerado sobre uno de los metales (el ánodo o menos noble) en el área adyacente al punto de contacto. La severidad se estima en forma burda con la serie galvánica, tabla 5.1, desarrollada para metales y aleaciones en agua de mar. El medio ambiente afecta la posición en la serie, los metales y aleaciones pueden cambiar de posición cuando son expuestos a otros ambientes diferentes.

Los materiales son considerados como “activos” o “pasivos”. Los pasivos, son altamente resistentes a la corrosión; se considera que la pasividad se debe a una película de óxido protectora que mantiene la superficie pasiva. Los metales dentro de grupos individuales (“activos” o “pasivos”), pueden exponerse en forma segura en contacto galvánico, pero los de diferentes grupos no. La relación de áreas expuestas es muy importante. La corrosión galvánica más severa ocurre cuando un área catódica grande es acoplada con un área anódica pequeña; y al contrario la situación es menos seria y en ocasiones puede ser tolerada.

**Tabla 5.1: Serie galvánica en agua de mar a 25°C**

Extremo corroído (Anódico, o menos noble)
Magnesio
Zinc
Acero galvanizado
Aleaciones de aluminio
Cadmio
Acero de bajo carbono
Plomo
Estaño
Aleaciones de cobre (activas)
Níquel 200 (activo)
Inconel aleación 600(activo)
Hastelloy aleación B
Chlorimet 2
Aleaciones de cobre (pasivas)
Níquel 200 (pasivo)
Inconel aleación 600(pasivo)
Monel aleación 400
Acero inoxidable 410 (pasivo)
Acero inoxidable 304 (pasivo)
Acero inoxidable 316 (pasivo)
Incoloy aleación 825
Inconel aleación 625
Hastelloy aleación C
Chlorimet 3
Plata
Titanio
Grafito
Oro
Platino
Extremo protegido (Catódico, o más noble)

- d) **Crevice** (Hendidura o ranura). Ocurre en uniones o cerca de ellas. Se presenta en superficies ajustadas que tienen contacto pobre con un ambiente corrosivo y debajo de sólidos asentados que forman depósitos sobre una superficie metálica.

También se presenta debajo de depósitos localizados en el fondo de contenedores de líquidos. Su geometría evita que el ambiente corrosivo alcance su parte más profunda, consecuentemente, los constituyentes del proceso de corrosión son diferentes a los del ambiente corrosivo, lo que provoca que esas regiones sean corroídas más rápidamente que el metal expuesto.

Típicamente se localiza en juntas de solape, placas metálicas remachadas o atornilladas, juntas bridadas y con empaques, y debajo de aislantes térmicos humedecidos.

- e) Nivel de líquido. Bombas y depósitos de líquidos que sufren de cambios en los niveles del líquido muestran corrosión rápida en la zona de salpicadura. La alta cantidad de oxígeno sobre la superficie y la baja cantidad de oxígeno en el líquido crean celdas anódicas y catódicas. Los residuos a lo largo de la superficie también aceleran la corrosión.

- f) Corrosión en fase selectiva. El ataque se produce sobre los constituyentes microestructurales o fases de los metales y aleaciones. Debido a que las microestructuras metálicas no son homogéneas, esta forma de corrosión es altamente localizada. A continuación se describen dos tipos de corrosión en fase selectiva:

- La “corrosión intergranular” es un ataque selectivo en los bordes de grano del metal o sobre áreas inmediatamente adyacentes, con un ataque relativamente pequeño sobre los propios granos. En su forma más severa, se pierden completamente los granos, lo que puede resultar en la desintegración completa del metal. Ocurre más frecuentemente en aceros inoxidable de la serie 300, y es un problema solamente cuando existe un tratamiento térmico inapropiado o en condición como soldado, en aleaciones inestables que contienen más de 0.03 por ciento de carbono.
- La “de-aleación” (dealloying) o des-materialización, es la remoción selectiva de uno o más elementos o fases de una aleación. En esencia, las dimensiones iniciales permanecen sin cambio, pero las áreas afectadas consisten de un residuo mecánicamente débil, usualmente de un color diferente al de la aleación.

Las formas comunes son: “De-zincificación” de bronce, en donde el zinc es preferentemente removido de la aleación, dejando una capa porosa de cobre.

- “Corrosión gráfica” de fundiciones de hierro, en donde el hierro es preferentemente removido, dejando una masa porosa de grafito. “Exfoliación” de aleaciones de aluminio, en donde la corrosión se propaga a lo largo de los bordes de grano, en planos paralelos a la superficie. “Ataque en los bordes de grano” la cual ocurre en forma selectiva en inclusiones no metálicas en áreas de sección transversal de productos rolados o extruídos tales como extremos de tubos, extremos de tornillos y los extremos cortados de placas.

La inspección visual para detectar corrosión general puede detectar la pérdida de la pared relativamente fácil, cuando el mecanismo ha dejado restos sin importancia; sin embargo, donde la corrosión se deposita y permanece, la inspección visual es difícil a menos que los depósitos sean cuidadosamente removidos. Usando micrómetros u otros instrumentos de medición puede medirse la cantidad de pérdida de la pared. Es mucho más difícil medir la pérdida de pared de componentes donde no es posible el acceso físico, por lo que otras técnicas, como el ultrasonido, son comúnmente usadas. El ataque por corrosión puede ordenarse desde corrosión uniforme superficial hasta picaduras muy localizadas. En la inspección visual debe documentarse la naturaleza, extensión y profundidad de cualquier corrosión no uniforme. La figura No. 55 ilustra algunas formas de corrosión.

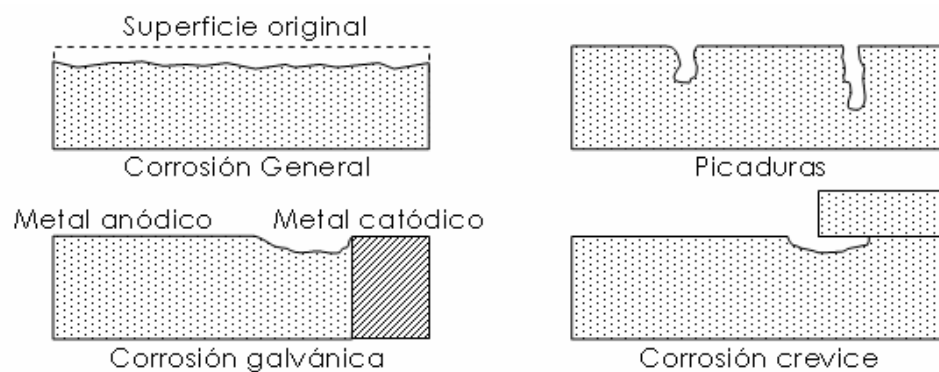


Figura No. 55: Algunas formas de corrosión

## Desgaste (Wear)

El desgaste es la remoción indeseable de material por acción mecánica. El desgaste puede ocurrir por diferentes mecanismos. El "desgaste abrasivo" ocurre cuando una superficie rueda, se desliza o resbala sobre otra superficie ejerciendo bastante presión como para causar una acción cortante (causado también por partículas que producen cierta pérdida de metal o por juntas traslapadas que se mueven o vibran).

Y el "desgaste adhesivo", ocurre cuando dos superficies son micro soldadas debido a la acción de calor y presión conforme se mueve una sobre la otra, o en superficies estáticas, cuando movimientos o presiones cíclicas pequeñas producen deformación elástica en los bordes y causan micro soldadura. Con base en la inspección visual, determinar el desgaste como mecanismo de pérdida de un metal es, relativamente fácil. El desgaste debe ser considerado donde quiera que existan superficies que estén en contacto y donde haya movimiento relativo.

## Erosión

La erosión es la pérdida de material o degradación de la calidad de una superficie a través de la fricción o abrasión de fluidos en movimiento a altas velocidades (como por ejemplo, en líneas de descarga de bombas, en válvulas de alta y baja presión),

siendo peor si existen partículas sólidas en esos fluidos o por cavitación en fluidos en movimiento (como por ejemplo en bombas y líneas de tubería).

La erosión y la erosión-corrosión son frecuentemente observadas en equipos de plantas de poder, debido a la alta velocidad del flujo de gas (productos de combustión o vapor) y la presencia frecuente de líquido atrapado o material sólido. Así, los tubos de calderas pueden mostrar frecuentemente señales de pérdida de metal debido a la erosión por partículas de ceniza. La última etapa de los alabes de las turbinas de vapor son frecuentemente fabricadas de estellite, para prevenir la erosión causada por agua presente en el vapor. La erosión de fase líquida se observa donde están presentes partículas sólidas o donde existen discontinuidades y cambios de dirección.

Algunos tipos específicos y ejemplos de erosión incluyen a: ranuras en forma de herradura encontradas en tubos y sistemas de tubería de cobre, debido a velocidades excesivas del flujo de agua; cavitación en la carcasa e impulsores de bombas, producida por fluidos sujetos a fluctuaciones rápidas de presión que dan como resultado la formación y el colapso de pequeñas burbujas de aire contra las superficies de metal.

### **Agrietamiento por esfuerzos de corrosión (Stress Corrosion Cracking = SCC)**

El agrietamiento por esfuerzos de corrosión (SCC) es una acción compuesta por esfuerzos y un ambiente corrosivo, lo que resulta en una reducción significativa en la ductilidad de un material. El SCC se detecta usualmente primero en la superficie del material, propagándose perpendicularmente a la superficie; sin embargo, generalmente se propagará perpendicular al esfuerzo.

Los esfuerzos involucrados son residuales o aplicados, o ambos, en presencia de iones específicos o ambientes peculiares para cada metal o aleación. Los esfuerzos residuales se encuentran con facilidad en componentes soldados y formados en frío. El ejemplo más común es el SCC de aceros inoxidable de la serie 300 producido por cloruros.

El SCC es más común en forma múltiple que simple, y las grietas son inter-granulares o trans-granulares. Las grietas pueden ser obvias o pueden requerir la eliminación del óxido u otros recubrimientos.

### **Fatiga**

La fatiga causa una reducción de la sección transversal debido a cargas cíclicas. La fatiga puede producir fracturas o cavidades.

Los esfuerzos superficiales y subsuperficiales producen deformación elástica de los materiales. La distribución no uniforme de los esfuerzos puede producir picaduras por fatiga. También, la fatiga superficial puede ocurrir donde están presentes ciclos repetidos de esfuerzos aplicados a una superficie, por la presencia de picaduras o por daño abrasivo, que llevan a producir grietas por fatiga.

## **Grietas por fatiga**

Las grietas por fatiga casi siempre inician en la superficie del material que está sometido a cargas elevadas y generalmente progresan en ángulos rectos a la dirección del esfuerzo principal. Los metales que están sujetos a esfuerzos alternados o fluctuaciones sobre un cierto nivel crítico (esfuerzo de fatiga) eventualmente desarrollarán grietas que pueden ser debido a efectos mecánicos (vibración cíclica o movimiento) o térmicos (calentamiento y enfriamiento repetitivos).

## **Fatiga mecánica**

La fatiga se define como la falla de un material o componente bajo esfuerzos repetidos o fluctuantes, teniendo un valor máximo menor que la resistencia a la tensión del material.

Hay tres etapas de la fatiga:

1. Daño inicial (lleva al inicio de la grieta)
2. Propagación de la grieta en el componente
3. Falla resultante de la sección reducida

## **Fatiga térmica**

La fatiga térmica es diferente de la mecánica por la naturaleza de la carga que causa la fatiga.

En la fatiga térmica, existen temperaturas diferenciales dentro de un componente, las cuales inducen esfuerzos y deformaciones significativas.

Las fuerzas que causan la fatiga térmica se deben a la expansión diferente entre:

1. Partes dentro de un componente encontrándose a temperaturas diferentes
2. Componentes a temperaturas diferentes que son conectados
3. Diferencias de los coeficientes de expansión

La proporción cíclica de la fatiga térmica es típicamente baja. Así, es frecuente, pero no exclusivo, un fenómeno de alta temperatura. Los esfuerzos a altas temperaturas llevan a fallar en muy pocos ciclos. Cuando esto ocurre en menos de diez ciclos, el fenómeno es conocido como “choque térmico”.

La fatiga térmica frecuentemente inicia donde existe cambio en el espesor de la sección, debido a la diferencia en la cantidad de calor que absorben las masas y al gradiente de temperatura.

## ii. **Procesos primarios soldadura y fundición**

### **Clasificación de discontinuidades de soldadura**

Algunas discontinuidades de soldadura son comunes a varios procesos, mientras que otras son exclusivas de un proceso específico. Aunque una discontinuidad puede ser común para varios procesos, su tamaño, forma y apariencia pueden variar con el proceso de soldadura.

Las discontinuidades discutidas son clasificadas en cuatro clases generales, cada una de las cuales puede subdividirse.

#### **1. Discontinuidades dimensionales**

- a. Tamaño de la soldadura
- b. Perfil de la soldadura
- c. Distorsión / deformación

#### **2. Discontinuidades estructurales**

- a. Grietas
- b. Penetración inadecuada
- c. Fusión incompleta
- d. Porosidad
- e. Inclusiones de escoria
- f. Inclusiones de tungsteno
- g. Socavado
- h. Quemada a través

#### **3. Propiedades del metal de soldadura (de aporte)**

- a. Propiedades químicas
- b. Propiedades mecánicas

#### **4. Discontinuidades del metal base**

- a. Laminaciones
- b. Desgarres laminares

#### **1. Discontinuidades dimensionales**

Los datos relacionados con el tamaño y dimensiones finales de la soldadura normalmente se incluyen en dibujos o especificaciones. El tamaño de la soldadura se determina por la medición actual utilizando calibradores o por comparación con muestras estándar.

### a) Tamaño de la soldadura

Soldadura de ranura. El tamaño de una soldadura de ranura se mide por la profundidad de la garganta efectiva. La garganta efectiva es la distancia más corta desde la raíz de la soldadura a la cara de la soldadura, menos cualquier refuerzo, figura No. 56. Si los dos miembros base son del mismo espesor, la garganta efectiva es igual al espesor del metal base. Si los dos miembros base son de diferente espesor, la garganta efectiva es igual al espesor del miembro más delgado.



Figura No. 56: Tamaño de una soldadura de ranura

Soldadura de filete. El tamaño de una soldadura de filete es indicado por la longitud de la pierna más corta. La pierna es la distancia desde la raíz de la junta al dedo de la soldadura.

El tamaño efectivo de una soldadura de filete es la longitud de la pierna del triángulo rectángulo isósceles más grande que puede ser inscrito dentro de la soldadura, figura No. 57. Para soldaduras de filete planas y convexas el tamaño efectivo es igual al tamaño de la pierna, pero para soldaduras de filete cóncavas es menor que la longitud de pierna actual.

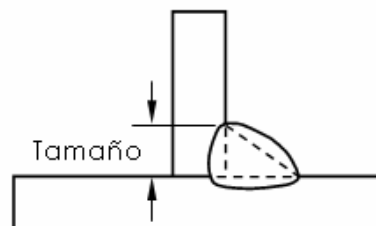


Figura No. 57: Tamaño de una soldadura de filete

### b) Perfil de la soldadura

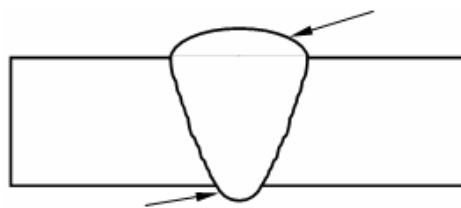
#### Soldadura de ranura

El perfil de una soldadura de ranura se relaciona con el refuerzo, alineación y contorno. En las soldaduras de ranura, las discontinuidades asociadas con el perfil incluyen:



- Refuerzo excesivo

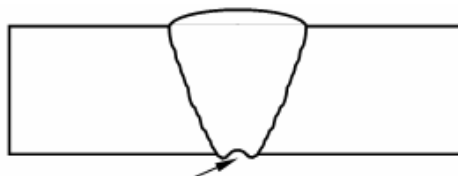
El refuerzo excesivo de cara es metal de soldadura depositado en exceso, formando un contorno altamente convexo del lado de la junta desde donde se ha soldado. El refuerzo excesivo de raíz es metal de soldadura depositado en exceso en la raíz y es más común en juntas soldadas diseñadas con una abertura de raíz. El refuerzo excesivo, figura No. 58, es indeseable porque más que reforzar la soldadura tiende a debilitar la sección del material y crea ranuras agudas que incrementan los esfuerzos y reducen drásticamente la resistencia a la fatiga de la junta soldada.



**Figura No. 58: Refuerzo excesivo de cara y de raíz**

- Concavidad excesiva de raíz

Es una condición en la raíz de la soldadura, en la cual, el metal fundido del charco de soldadura es jalado hacia dentro de la junta durante la solidificación. El paso de raíz funde adecuadamente ambas caras de raíz, pero al centro del cordón de raíz se presenta una depresión o cavidad, que penetra más allá de la superficie adyacente del metal base, debido a la contracción del metal, figura No. 59.

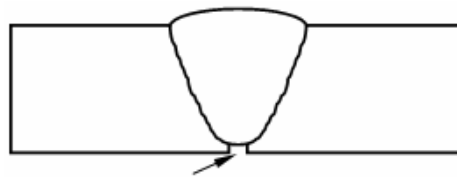


**Figura No. 59: Concavidad excesiva de raíz**

- Penetración incompleta

La penetración incompleta o inadecuada es la falla del metal de soldadura para penetrar completa o adecuadamente la raíz.

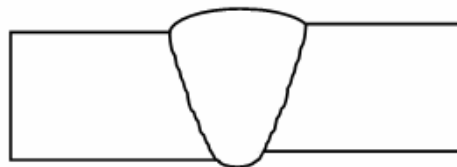
De acuerdo con AWS, penetración incompleta es un término no estándar. Sin embargo, es el que mejor se refiere a la fusión incompleta que ocurre en la raíz de la soldadura y el que mejor describe su naturaleza y localización. También conocida como falta de penetración, figura No. 60.



**Figura No. 60: Penetración incompleta**

o Desalineamiento (misalignment)

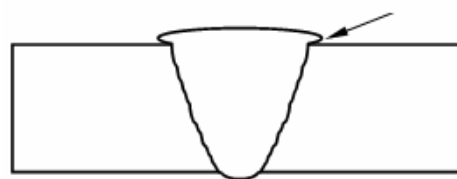
Desalineamiento, o en el caso de soldaduras en carcaza, cascos o cubiertas y tubería conocido como “High-Low”, es la condición donde los miembros o elementos soldados no se encuentran nivelados, figura No. 61.



**Figura No. 61: Desalineamiento**

o Traslape (overlap)

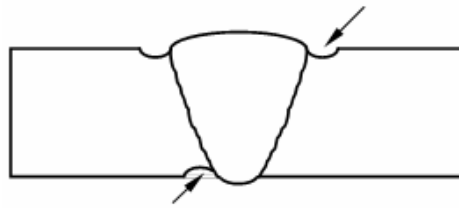
Es la condición donde existe una saliente o proyección de metal soldado sin fundir, más allá de los dedos de cara o raíz de la soldadura. Aparece como si el metal soldado desbordara la junta y se extiende sobre la superficie del metal base adyacente, figura No. 62. Es considerada una discontinuidad significativa ya que produce un efecto de muesca o ranura, lo cual resulta en concentración de esfuerzos cuando la soldadura es colocada bajo cargas durante el servicio.



**Figura No. 62: Traslape**

o Socavado (undercut)

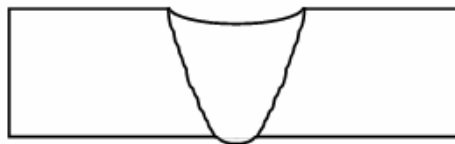
Es una condición superficial, cuando el metal base se funde en la unión con el metal de soldadura, pero el metal depositado es insuficiente para llenar adecuadamente la depresión resultante. Aparece como una ranura o cavidades fundidas en el metal base directamente adyacente y a lo largo de cualquiera de los bordes de la cara o raíz de la soldadura, figura No. 63. Esta condición en exceso puede afectar seriamente la vida de la soldadura debido a la fatiga.



**Figura No. 63: Socavado**

- Relleno insuficiente (llenado bajo = Underfill)

Es una depresión en la cara o raíz de la soldadura, lo que corresponde a una pérdida de material en la sección transversal de la soldadura, que como resultado tendrá un espesor menor que el metal base. No hay suficiente metal depositado para llenar adecuadamente la junta soldada, figura No. 64. Esta condición puede debilitar seriamente la soldadura.



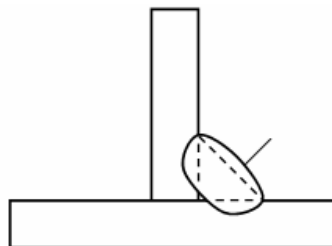
**Figura No. 64: Llenado bajo**

### **Soldadura de filete**

El perfil de una soldadura de filete se relaciona principalmente con su contorno. Varias discontinuidades del perfil, asociadas con las soldaduras de ranura, también son asociadas con las soldaduras de filete, sin embargo, la terminología utilizada para describirlas es diferente.

- Puente (bridging)

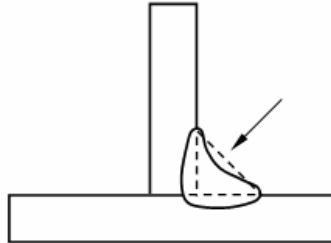
El puente en una soldadura de filete es similar a una penetración incompleta en una soldadura de ranura. Es la falla del metal de soldadura para penetrar en el metal base, hasta la raíz de la soldadura de filete, figura No. 65.



**Figura No. 65: Puente**

- **Concavidad excesiva**

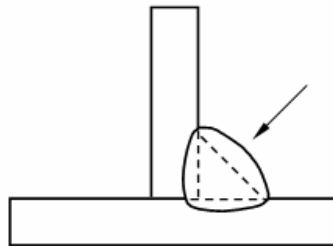
Es la condición donde la cantidad insuficiente de metal de soldadura ha ocasionado que la garganta actual sea menor que el tamaño del filete requerido, figura No. 66.



**Figura No. 66: Concavidad excesiva**

- **Convexidad excesiva**

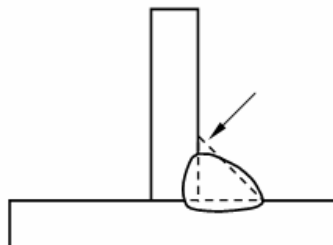
Es metal de soldadura depositado en exceso sobre la cara de la soldadura. Esta condición produce un efecto de muesca o ranura, lo cual puede debilitar seriamente la soldadura, figura No. 67.



**Figura No. 67: Convexidad excesiva**

- **Pierna insuficiente**

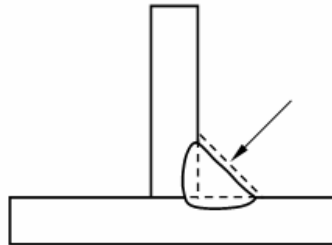
Es la condición que resulta cuando existe una cantidad inadecuada de metal de soldadura depositado entre la raíz del filete y el dedo de la soldadura, figura No. 68.



**Figura No. 68: Pierna insuficiente**

- Garganta insuficiente

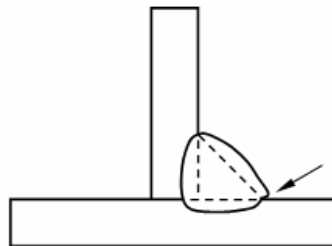
Es la condición donde la cara de la soldadura está por debajo de lo normal, reduciendo la sección transversal de la soldadura, por lo tanto, la soldadura se encuentra debilitada, figura No. 69.



**Figura No. 69: Garganta insuficiente**

- Traslape (overlap)

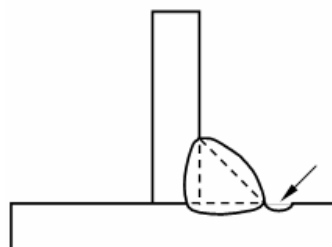
Es la condición donde existe una saliente de metal de soldadura más allá de la línea de fusión en el dedo de la soldadura, la cual puede reducir el tamaño efectivo de la pierna, figura No. 70.



**Figura No. 70: Traslape**

- Socavado (undercut)

Es una condición superficial, cuando el metal base se funde en la unión con el metal de soldadura. Aparece como una ranura o cavidades fundidas en el metal base adyacente al dedo de la soldadura, figura No. 71. Esta condición en exceso puede afectar seriamente la vida de la soldadura debido a la fatiga.



**Figura No. 71: Socavado**

### c) Distorsión / deformación

La distorsión y la deformación son causados por esfuerzos de alta magnitud que se producen como resultado de la expansión térmica no uniforme y la contracción del metal soldado y el metal base. La distorsión puede ser angular o lateral.

1. La distorsión angular es la distorsión que se produce hacia fuera de la línea central de la soldadura, figura No. 72.

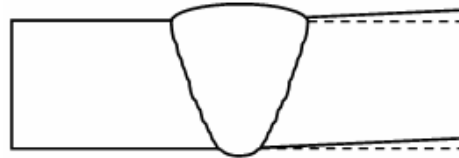


Figura No. 72: Distorsión angular

2. La distorsión lateral es la distorsión (deformación) que se produce a lo largo de la línea central de la soldadura.

## 2. Discontinuidades estructurales

Como resultado de una técnica inadecuada para soldar, la falla para cumplir o seguir el procedimiento de soldadura, o como resultado de un procedimiento inadecuado o incorrecto para soldar, pueden formarse discontinuidades en el metal soldado o en el metal base adyacente, lo que puede reducir las propiedades mecánicas. A estas discontinuidades se les identifica como estructurales.

### a) Grietas (cracks)

Las grietas son definidas como discontinuidades de tipo fractura, caracterizadas porque presentan condiciones de extremos o puntas muy agudos, una gran longitud y con una relación altura contra abertura. La grieta generalmente es considerada como la discontinuidad más crítica, esto se debe a que las puntas de las grietas son extremadamente agudas, y existe la tendencia para que crezca o se propague, si son aplicados esfuerzos adicionales.

Las grietas pueden ser categorizadas en formas diferentes:

Indicando el momento que se generan. Pueden ser clasificadas como grietas calientes y frías, tomando como base la temperatura a la cual se produce la grieta.

**Grietas calientes:** Ocurren a altas temperaturas durante la solidificación del metal. Se considera que su propagación es íntergranular, esto es, ocurre entre granos individuales.

**Grietas frías:** Ocurren después que el metal se ha solidificado y enfriado a temperatura ambiente. Aquellas que resultan de condiciones de servicio o por hidrógeno atrapado también pueden ser consideradas como grietas frías. La propagación de estas grietas puede ser intergranular o transgranular, esto es, entre o a través de granos individuales.

Describiendo su dirección con respecto al eje longitudinal de la soldadura. Pueden ser grietas longitudinales o transversales.

**Grietas longitudinales:** Son aquellas que corren paralelas al eje de la soldadura, normalmente están confinadas al centro de la soldadura, como ilustra la figura No. 73. Una grieta longitudinal puede ser una extensión de una grieta que inicia en la primer capa de soldadura, la cual, si no es removida, tiende a propagarse subsecuentemente hacia las capas superiores hasta alcanzar la superficie. También son identificadas como grietas de garganta.

Las grietas longitudinales pueden resultar de esfuerzos transversales de contracción o esfuerzos asociados con las condiciones de servicio.

**Grietas transversales:** Estas grietas son perpendiculares al eje de la soldadura, en algunos casos entran al metal base. Generalmente son causadas por esfuerzos longitudinales de contracción de la soldadura, que actúan sobre la propia soldadura o sobre el metal base de baja ductilidad.

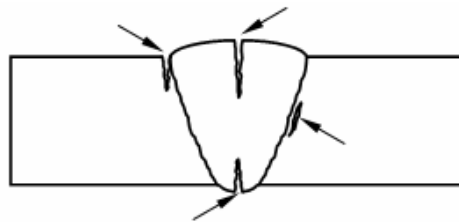


Figura No. 73: Diferentes formas y ubicaciones de grietas

Por la localización física exacta con respecto a las diferentes partes de la soldadura. Esta descripción incluye: garganta, raíz, dedo, cráter, debajo de cordón, zona afectada por el calor y en el metal base.

**Grietas de garganta:** Llamadas así porque se extienden a lo largo de la garganta de la soldadura o en el espacio más corto a través de la sección transversal de la soldadura, en soldaduras de filete. Pueden llegar a la cara de la soldadura por lo que pueden ser observadas visualmente.

**Grietas de raíz:** Su propagación puede ser en el metal de soldadura o en el metal base. También son longitudinales. Inician en la raíz de la soldadura o en la superficie de la raíz.

Así como las grietas de garganta, están relacionadas con la existencia de esfuerzos de contracción de la soldadura. Muchas veces resultan cuando las juntas son ajustadas o preparadas inadecuadamente, por ejemplo aberturas de raíz grandes pueden resultar en una concentración de esfuerzos para producir grietas de raíz.

**Grietas de dedo:** Son grietas del metal base, que se propagan desde los dedos de la soldadura. Las soldaduras que presentan refuerzo o convexidad pueden proporcionar concentradores de esfuerzos en los dedos de la soldadura, esto, combinado con la baja ductilidad de la microestructura de la zona afectada por el calor, incrementa la susceptibilidad de la soldadura a las grietas de dedo. Pueden ocurrir por los esfuerzos transversales de contracción de la soldadura o por esfuerzos de servicio debido a la fatiga.

**Grietas cráter:** Se generan en los puntos de terminación de los pasos o cordones individuales de soldadura, donde se interrumpe el arco. Si la técnica utilizada por el soldador al terminar el arco no suministra el llenado completo del charco de soldadura fundida, el resultado puede ser un cráter en esa ubicación.

La presencia del cráter, combinado con los esfuerzos de contracción de la soldadura durante la solidificación del charco fundido, pueden producir una grieta de cráter o redes de grietas que irradian desde el centro del cráter. Cuando el arreglo es radial comúnmente se refiere como grieta estrella. Estas grietas pueden ser extremadamente peligrosas porque tiene la tendencia a ser puntos de inicio de otras grietas y son consideradas como serias por la mayoría de normas.

**Grietas debajo de cordón / zona afectada por el calor:** Aunque están relacionadas con la operación de soldadura, estas grietas se localizan directamente adyacentes a la línea de fusión de la soldadura, en la zona afectada por el calor (HAZ = Heat Affected Zone) en lugar del metal de soldadura. Corren directamente paralelas a la línea de fusión.

Son un tipo de grietas particularmente peligrosas porque pueden no propagarse hasta varias horas después que la soldadura ha sido terminada. Por esta razón, para aquellos materiales que son más susceptibles a este tipo de grietas, la inspección final debería realizarse de 48 a 72 horas después que la soldadura se ha enfriado a la temperatura ambiente. Resultan por la presencia de hidrógeno en la zona de la soldadura, el cual puede estar presente en el material de aporte, en el metal base, en la atmósfera circundante o por contaminación superficial.

También, debido a que la zona afectada por el calor es típicamente menos dúctil que el metal de soldadura y el metal base, el agrietamiento puede ocurrir sin la presencia de hidrógeno. En situaciones de alta restricción, los esfuerzos de contracción pueden ser suficientes para producir grietas en la zona afectada por el calor, especialmente en el caso de materiales frágiles.



**Grietas en el metal base:** Este tipo de grietas puede o no ser asociado con la soldadura. Con mucha frecuencia, son asociadas con elevadores de esfuerzos, los cuales resultan en el agrietamiento una vez que la pieza es puesta en servicio.

### c) Fusión incompleta

Se describe como la condición donde la soldadura no está completamente fusionada con el metal base o con los pasos adyacentes de soldadura. Es la falla del metal fundido de soldadura para fluir, fundir y fusionar el metal adyacente.

Debido a su forma lineal y la característica de sus bordes relativamente agudos, la fusión incompleta corresponde a una discontinuidad significativa de la soldadura. También es conocida como falta de fusión, fusión inadecuada y solape o soldeo en frío. Puede ocurrir en diferentes posiciones dentro de la soldadura. Normalmente es alargada y orientada en dirección de la soldadura, paralela al eje de la soldadura. Puede presentarse en líneas alargadas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas, como se muestra en la figura No. 74.

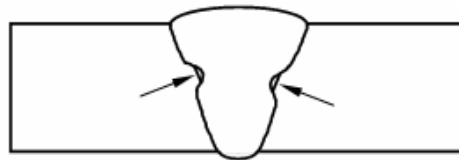


Figura No. 74: Fusión incompleta

### d) Porosidad

La porosidad es una discontinuidad de tipo cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación. Pueden ser simplemente huecos o paquetes de gas dentro del metal soldado. Debido a su forma esférica característica, la porosidad es normalmente considerada la discontinuidad menos peligrosa. Sin embargo, donde la soldadura debe formar algún límite para contener un gas o líquido, la porosidad puede ser considerada más peligrosa. La porosidad es generalmente caracterizada como una discontinuidad con bordes tersos, redondeada o alargada. Un solo poro también puede tener una cola aguda, lo que podría ser un punto de inicio de una grieta.

Existen diferentes formas de nombrar un tipo específico de porosidad. En general, se refieren a la localización relativa de varios poros o la forma específica de los poros individuales.

1. Porosidad aislada: Es un poro individual, redondeado o alargado, que puede ser atrapado en cualquier lugar en la soldadura.
2. Porosidad uniforme dispersa: En general, es de apariencia redondeada, se refiere a poros numerosos que pueden aparecer dispersos a través de la soldadura sin ningún patrón en particular, figura No. 75.

3. Porosidad agrupada: Se refiere a un patrón específico de varios poros.

Describe un grupo de poros en un área pequeña separada por cierta longitud de metal soldado libre de porosidad, la figura No. 76 muestra la porosidad agrupada.

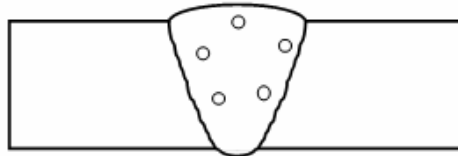


Figura No. 75: Porosidad uniforme dispersa

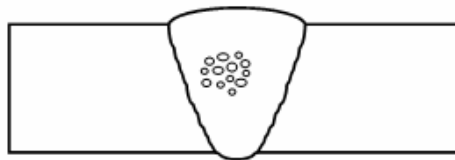


Figura No. 76: Porosidad agrupada

4. Porosidad lineal (Hollow bead): Se refiere a otro patrón específico de varios poros; la porosidad lineal o alineada describe una cierta cantidad de poros agrupados en una línea recta y paralela al eje de la soldadura. Generalmente se encuentran en el cordón de raíz.
5. Porosidad tubular (Wormhole): Con los tipos anteriores de porosidad, los poros son usualmente de forma esférica, sin embargo, con este tipo de porosidad los poros son alargados. Por esta razón, son referidos como porosidad alargada, tipo túnel o agujeros de gusano. Este tipo de porosidad representa la condición más riesgosa si la función principal de la soldadura es contener un líquido o gas.

#### e) Inclusiones de escoria

Las inclusiones de escoria son óxidos, escoria y otros materiales sólidos no metálicos (como los usados para proteger el metal fundido) que son atrapados en el metal soldado, entre el metal de aporte y el metal base o entre los cordones de la soldadura, en los pasos de relleno.

Generalmente son de forma irregular, ligeramente alargadas, agrupadas o aisladas y distribuidas al azar en cualquier parte de la soldadura, figura No. 77.

Se produce solamente cuando el proceso utilizado emplea algún tipo de flujo de protección. Es causada principalmente por una técnica inapropiada para soldar, como manejo inadecuado del electrodo y limpieza insuficiente entre pasos.



**Figura No. 77: Inclusiones de escoria**

#### **f) Inclusiones de tungsteno**

Estas inclusiones están asociadas con el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), el cual utiliza un electrodo de tungsteno para producir un arco, y con esto el calor para la soldadura. Son pedazos pequeños de tungsteno entre los cordones de la soldadura. Pueden ser partículas muy finas o de gran tamaño, de forma irregular, agrupadas o aisladas y localizadas en cualquier parte de la soldadura.

Ocurre cuando el electrodo de tungsteno hace contacto con el charco fundido, con lo que se corta el arco y el metal fundido puede solidificar alrededor de la punta del electrodo. También, resulta cuando la corriente utilizada es en exceso a la recomendada para el diámetro particular del electrodo, por lo que el electrodo se funde y se depositan pedazos del mismo en el metal soldado.

#### **g) Quemada a través**

Es una depresión o hueco abierto, en forma de cráter. Se extiende a través de la raíz, causada por sobrecalentamiento local en el primero o segundo paso de soldadura. Cuando el área está siendo fundida, el metal fluye fuera de la junta, dejando un hueco en la parte inferior, el metal fundido simplemente se hunde y forma una depresión.

En otras palabras, se debe a una penetración excesiva en la raíz de la soldadura por la cual se ha perdido parte del metal, generalmente no es alargada.

De acuerdo con AWS, quemada es un término no estándar cuando es usado para el refuerzo o penetración excesiva o un hueco a través de la raíz.

#### **Discontinuidades en la fundición**

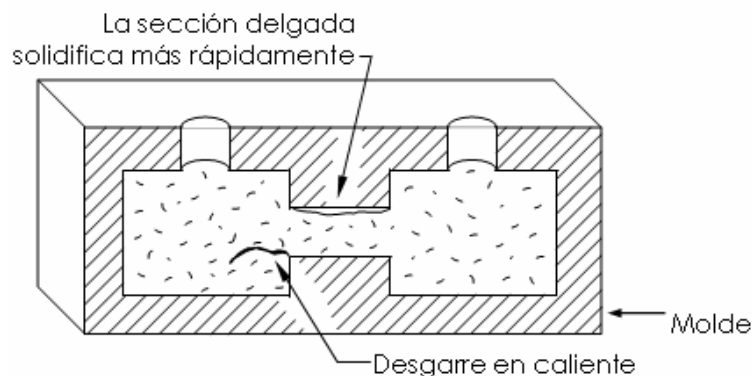
Desde que la fundición es un proceso primario, las discontinuidades asociadas con ella son consideradas como inherentes. Estas incluyen:

- Inclusiones
- Desgarres en caliente
- Porosidad
- Soldeo en frío

Estas discontinuidades ofrecen un reto real para el inspector visual.

- Las inclusiones en la fundición pueden ser visibles. Se debe recordar, que el inspector visual debe obtener conclusiones viendo solamente una pequeña porción de la discontinuidad en las superficies. Las inclusiones son usualmente de arena o material refractario y aparecen como cavidades de forma irregular conteniendo material no metálico.
- Los desgarres en caliente, o grieta por contracción, aparecen como grietas ramificadas o, en casos severos, como un grupo de grietas. Se producen en algunas zonas de piezas con geometría complicada, donde se presentan secciones gruesas y delgadas, debido a lo cual se presentan diferentes velocidades de solidificación y enfriamiento, lo que ocasiona diferentes contracciones. Los desgarres siempre son abiertos a la superficie, figura No. 78, y pueden ser detectados visualmente.

Los desgarres en caliente son consideradas como las discontinuidades más severas de la familia de las contracciones, y como de las más críticas en general en productos fundidos.



**Figura No. 78: Desgarre en caliente**

- La porosidad aparece como una serie de depresiones hemisféricas en la superficie de una fundición. Esta apariencia de cacarizo es similar a un paisaje lunar y se reconoce fácilmente.

La porosidad en fundiciones es causada por gas atrapado, de la misma forma que en el lingote. La porosidad puede ser superficial o subsuperficial dependiendo del diseño del molde o la configuración del artículo.

- El soldeo en frío o traslape en frío (cold shuts) aparece como dobleces o como discontinuidades de tipo grieta tersa o lisa, dependiendo de la localización y severidad. Son usualmente visibles en la superficie de la fundición.

El soldeo o traslape en frío se forma cuando el metal fundido se vierte sobre el metal solidificado. También puede formarse por la falta de fusión entre dos superficies que se interceptan de material fundido a temperaturas diferentes.



## CAPITULO SEIS: APLICACIONES DE LA INSPECCION VISUAL Y OPTICA

### i. Aplicaciones de la inspección visual para metales

Los metales son los blancos más frecuentes de las Pruebas no Destructivas. La información relacionada con la inspección visual y óptica se encuentra fácilmente disponible para todas las fases de los procesos de manufactura y servicio. Los procesos de los metales pueden dividirse en distintas etapas para cada fase de manufactura y uso. Estas son: procesos de formado primario (solidificación), procesos de formado secundario, procesos de acabado o terminado, procesos de unión y servicio.

#### Procesos de formado primario

Todas las partes metálicas son fabricadas inicialmente por los procesos de solidificación o fundición. El vaciado de metal fundido en moldes, para producir artículos útiles, es uno de los métodos más antiguos para el formado de metales.

Los metales como el hierro, acero, aluminio y bronce son fundidos y vaciados en moldes, y se permite que solidifiquen antes que sean procesados posteriormente. Con el propósito de producir formas útiles o necesarias, la fundición se realiza usando varias técnicas diferentes. Estos procesos involucran un gran segmento de la industria del metal. Las fundiciones producidas van desde pequeñas piezas de precisión hasta secciones pesadas de maquinaria de varias toneladas de peso.

Casi cualquier metal puede ser vaciado en moldes desde su estado líquido. El proceso de fundición requiere un modelo o patrón (que tenga la forma deseada) y un molde hecho a partir del modelo. El molde debe ser fabricado para soportar el calor del metal fundido, ya sea de arena, yeso, cerámica, o metal. La madera es la más usada para la fabricación de los modelos, pero también puede ser usado metal y cera. Los diferentes métodos de fundición son:

- Fundición en arena
- Fundición centrífuga
- Fundición de inversión (de cera perdida)
- De moldes permanentes
- Por inyección (Die casting)

Todos los procesos son susceptibles de generar discontinuidades, por lo que las fundiciones son inspeccionadas visualmente para detectar discontinuidades producidas comúnmente durante la solidificación. La localización y apariencia de las discontinuidades varía con el proceso.

La inspección visual también se realiza frecuentemente en formas primarias de metales como lingotes, tochos, planchones y billets. Estos artículos son rutinariamente sujetos a un análisis espectrográfico para determinar su composición química y a un análisis metalográfico para determinar la estructura de grano y las condiciones superficiales.

Existe una variedad de especificaciones para productos fundidos, que incluyen criterios de aceptación para la inspección visual, publicadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), la industria militar de EU y otras más que incluyen estándares de industrias específicas.

Las inspecciones de productos fundidos terminados normalmente incluyen la inspección visual manual (utilizando únicamente espejos y magnificadores) para localizar discontinuidades de fundición, verificar el marcado y la limpieza. La textura superficial puede determinarse utilizando medidores de perfil o contorno, pero usualmente se inspecciona por comparación contra estándares visuales.

Es común el uso de la inspección visual remota o boroscopia para inspeccionar superficies o áreas internas de piezas huecas. En ocasiones, se requiere una inspección aplicando un ataque químico para verificar el tamaño y dirección de la estructura cristalina. Algunas formas simples que se fabrican en grandes cantidades son inspeccionadas utilizando la tecnología de máquinas de visión.

### **Procesos de formado secundario**

Los procesos de formado secundario se basan en la deformación plástica al trabajar el metal para producir partes. Un metal “conformado” es cualquier parte de metal que ha sido formada por una fuerza mientras se encuentra en estado sólido.

La mayoría de los metales pueden ser trabajados para darles forma ya sea en frío o en caliente. La temperatura del metal, mientras está siendo trabajado, afectará directamente las propiedades de las partes terminadas.

El “trabajo en caliente” es cualquier formado o trabajado del metal por arriba de su temperatura de recristalización.

El “trabajo en frío” es cualquier formado o trabajado del metal por debajo de la temperatura de recristalización.

El propósito del trabajo en caliente y frío es el mismo para todos los metales. Los metales trabajados en caliente serán suaves y casi libres de esfuerzo, debido a que el metal se recristalizará después del formado y antes que se enfríe.

El metal trabajado en caliente no es tan resistente como el mismo material si se hubiera trabajado en frío. El formado en frío incrementa la resistencia y la dureza del metal. La estructura del metal es forzada en su forma y no puede recristalizarse después que ha terminado la operación del formado, como en el caso del trabajo en caliente.

El acero trabajado en frío tendrá un acabado uniforme y terso. La resistencia y dureza que puede ser desarrollada por el formado en frío depende del metal particular y el método de formado utilizado. El trabajo en frío es la única forma en que puede ser endurecido cualquier metal puro y algunas aleaciones.

La mayoría de productos conformados son formados por uno o más de los siguientes métodos:

- Rolado
- Forjado
- Estirado o trefilado
- Extrusión
- Perforado

Todas las partes inician como una fundición, cuando el metal se funde en forma de un lingote. La siguiente etapa es cuando el lingote es rolado en caliente para formar billets. Estos últimos son reducidos por rolado u otros métodos de conformado, ya sea en frío o en caliente.

## Rolado

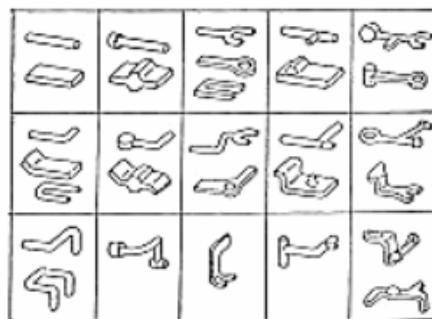
Es un proceso donde el metal es pasado entre dos rodillos para reducir el metal a espesores designados. Con el rolado pueden obtenerse perfiles y formas especiales, figura No. 79.



**Figura No. 79: Formas de productos típicos fabricados por rolado**

## Forjado

Se hace calentando el metal hasta que sea plástico o suave y después se prensa o martilla en formas específicas. El forjado habilita a un metal para retener el flujo de grano, de modo que lo hace más fuerte que una parte equivalente que ha sido cortada o maquinada. La figura No. 80 muestra algunas partes típicas forjadas.



**Figura No. 80: Productos típicos forjados**



### Estirado o trefilado

Es un método para darle forma a una pieza, jalándola y haciéndola pasar a través de un troquel o dado, de modo que la pieza adquiere la forma de la sección transversal del troquel. Puede ser usada una serie de dados, cada uno más pequeño que el que le precede. El proceso inicia con el metal caliente y se va enfriando durante el estirado. En el último dado puede ser un trabajo en frío del metal. Los alambres suelen ser hechos de esta forma, figura No. 81.

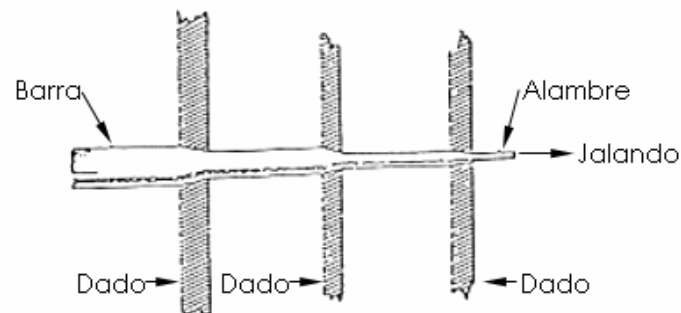


Figura No. 81: Trefilado de alambre

### Extrusión

Es un proceso donde las partes son formadas empujando el metal a través de un troquel o dado. El metal es formado de modo similar al de la pasta dental cuando es forzada a través del tubo. El metal toma la forma de la sección transversal de la abertura. Con este proceso pueden fabricarse formas muy completas. Algunas de estas formas no pueden ser fabricadas por algún otro método. El aluminio, cobre y magnesio son a menudo extruídos. Grandes longitudes de tubería sin costura (fluxería) son hechas por extrusión. La figura No 82 muestra algunas formas típicas fabricadas por extrusión.

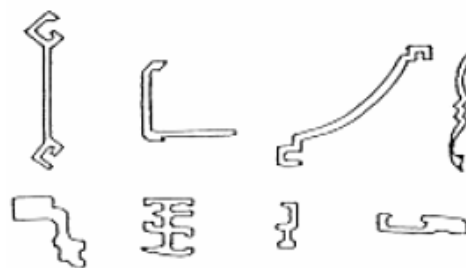
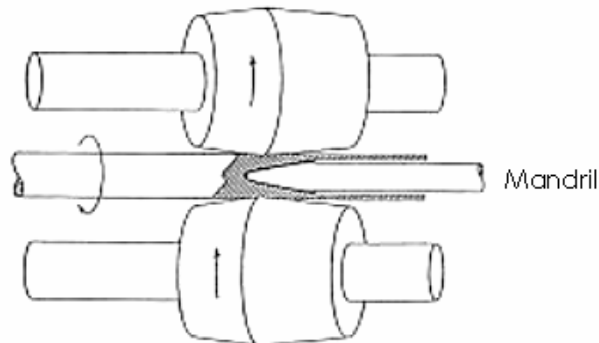


Figura No. 82: Formas típicas fabricadas por extrusión

### Perforado

Es un proceso en el cual una barra de metal caliente es rolada a lo largo entre rodillos, de modo que el centro se abre cuando es empujado sobre un mandril. El mandril abre el centro a un diámetro dado para formar tubería (fluxería). Entonces la fluxería es estirada a través de un

troquel o dado para darle el tamaño y acabado deseado. La figura 83 ilustra la forma de fabricar tubería sin costura.



**Figura No. 83: Formado de tubería sin costura**

Los productos conformados son inspeccionados en forma visual y óptica para verificar longitud, ancho, diámetro, espesor, planicidad, acabado superficial y para detectar discontinuidades superficiales.

Las discontinuidades superficiales y su apariencia varían dependiendo el tipo de material y el proceso. Los productos con formas relativamente simples son fáciles de inspeccionar con sistemas automatizados de inspección de alta velocidad, utilizando varias fuentes de luz, cámaras CCD y el procesamiento de la señal.

### **Procesos de acabado o terminado**

Los procesos de acabado incluyen las operaciones de maquinado y tratamiento térmico.

La mayoría de operaciones de maquinado involucra la remoción de metal por medios mecánicos con el fin de obtener una configuración deseada. Las operaciones de maquinado incluyen el fresado, torneado, taladrado, aserrado, esmerilado y pulido.

La mayoría de características producidas durante los procesos de maquinado son inspeccionadas dimensionalmente, incluyendo la verificación del acabado superficial. Las máquinas controladas por computadora en ocasiones cuentan con probadores automáticos que les permite inspeccionar dimensionalmente su propio trabajo.

La rugosidad superficial puede ser inspeccionada manualmente utilizando un calibrador por comparación visual o medidor de perfil o contorno o, en algunos casos, por medio de sistemas automáticos mediante técnicas ópticas.

Las partes tratadas térmicamente se inspeccionan dimensionalmente para determinar si se presenta distorsión, además de ser inspeccionadas visualmente para verificar si existe decoloración y contaminación. Es común verificar la efectividad del tratamiento térmico con una prueba de dureza.

## Procesos de unión

Los métodos más comunes para unir un artículo a otro incluyen a la soldadura, “soldering”, “brazing”, adhesivos y sujetadores (sistemas de pernos, tornillos y remaches). La selección del sistema de unión se basa en los objetivos de funcionamiento, los materiales que serán unidos y el costo del proceso.

## Soldadura

De acuerdo con la Sociedad Americana de soldadura (AWS), un “proceso de soldadura” se define como “un proceso para unir materiales con el cual se produce coalescencia de los materiales calentándolos a temperaturas apropiadas, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente, y con o sin el uso de metal de aporte o de relleno”. Los procesos están agrupados de acuerdo con el modo de transferencia de energía. Una consideración secundaria es la influencia de la atracción capilar en la distribución efectuada del metal de aporte en la junta.

## Soldadura por arco

La definición de AWS de soldadura por arco es “un grupo de procesos de soldadura los cuales producen coalescencia de metales al calentarlos con un arco, con o sin la aplicación de presión, y con o sin el uso de metal de aporte”. Estos procesos tienen dos cosas en común:

- Cada uno usa un arco eléctrico como fuente de energía para fundir el metal base y el metal de aporte.
- Cada uno brinda un medio de protección al arco para bloquear elementos dañinos encontrados en el aire.

En este proceso, se genera un arco eléctrico entre la pieza de trabajo, la cual sirve como un electrodo del circuito, y el otro electrodo, el cual puede ser un material consumible o no. Los electrodos no consumibles no se funden en el arco y el metal de aporte no se transfiere a través del arco. Los procesos de soldadura que usan electrodos no consumibles son los de soldadura por arco de carbono, soldadura por arco de plasma y soldadura por arco de tungsteno y gas. Los electrodos consumibles se funden en el arco y son transferidos a través del arco para convertirse en metal de aporte depositado. Los procesos de soldadura que usan electrodos consumibles son: la soldadura por arco de metal protegido (manual), soldadura por arco de metal y gas (con gas de protección), soldadura por arco de tubo con fundente en el núcleo (tubular) y soldadura por arco sumergido.

Los procesos se identifican típicamente por el método utilizado para proteger al metal de la oxidación. Cada proceso de soldadura tiene ciertos factores limitantes, que hacen a un proceso particular la mejor selección para algunas aplicaciones que otros.

De estos procesos de soldadura por arco, los más comúnmente usados en plantas de poder son el de soldadura por arco de metal protegido (SMAW), soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW) y soldadura por arco de metal y gas (GMAW).

### **Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)**

Para AWS, este proceso es un “proceso de soldadura por arco el cual se produce coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal cubierto y la pieza de trabajo. La protección se obtiene de la descomposición de la cubierta del electrodo. La presión no se usa y el metal de aporte se obtiene del electrodo”.

Es un proceso manual, a veces llamado soldadura "Stick", porque el trabajo es ejecutado y controlado con la mano. Esto ayuda a contar con una alta versatilidad. Este proceso es el más ampliamente utilizado de todos los procesos de soldadura por arco. Se emplea el calor del arco para fundir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto con fundente. Este electrodo y la pieza de trabajo son parte del circuito eléctrico.

Conforme el electrodo de aporte se funde y se deposita en el metal base, está protegido de la oxidación al quemarse el fundente del revestimiento. Este proceso de “quemadura” consume el oxígeno en el ambiente inmediato; sin embargo, el residuo del fundente quemado o escoria puede quedar atrapado en los pasos subsecuentes.

### **Soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW)**

La soldadura por arco de tungsteno y gas (también llamada tungsteno y gas inerte, TIG) usa un arco eléctrico entre un electrodo no consumible y la pieza de trabajo. La protección se obtiene de un gas inerte o una mezcla de gas inerte. El metal de aporte puede añadirse conforme se va necesitando. La antorcha es usualmente enfriada con agua, pero puede ser enfriada con aire para corrientes bajas.

Este es un proceso manual, sin embargo, puede ser mecanizado para soldadura automática. Cuando se añade el metal de aporte, el proceso requiere la técnica de dos manos, como en la soldadura de gas. La alimentación de alambre frío y la alimentación de alambre caliente son versiones automatizadas de esa técnica.

El electrodo no consumible conduce calor hasta la parte y la atmósfera se limpia de oxígeno dirigiendo un flujo de gas inerte a través de una copa de protección. Este proceso obviamente NO PUEDE tener residuos de “fundente quemado” o escoria.

### **Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)**

La soldadura por arco de metal y gas (también llamada metal y gas inerte o MIG) usa el calor de un arco eléctrico entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza de trabajo. La protección se obtiene completamente de un gas o mezcla de gas suministrado externamente.

Este proceso puede ser semiautomático, mecánico o automático. En el modo semiautomático, el soldador controla la inclinación y distancia de su pistola hacia la pieza de trabajo, y la velocidad de viaje y la manipulación del arco. La fuente de energía y el alimentador del alambre controlan la longitud del arco y la alimentación del electrodo automáticamente.

El proceso de soldadura por arco de metal y gas deposita el metal soldado en la junta por uno de los modos siguientes: transferencia globular, transferencia de rocío, transferencia de corto circuito y soldadura por arco pulsado.

Similar al GTAW no hay “fundente quemado” por lo tanto se elimina la posibilidad de inclusiones de escoria. Adicionalmente, no se utiliza electrodo de tungsteno, en su lugar se usa un electrodo consumible, por lo tanto, no es posible una inclusión de tungsteno.

### **Soldadura por arco sumergido (SAW)**

La soldadura por arco sumergido usa el calor de un arco o arcos eléctricos entre un electrodo o electrodos de metal desnudos y la pieza de trabajo, todos sumergidos debajo del material granular de protección, que es un material que se funde. La soldadura debajo de un fundente granular es un proceso semiautomático, mecánico o automático, en el cual la alimentación del electrodo y la longitud del arco son controladas por el alimentador de alambre y el suministro de energía. En la soldadura automática un mecanismo de viaje mueve la antorcha o la pieza de trabajo, y un sistema de recuperación de fundente hace recircular el fundente granular que no se fundió.

El arco se esconde en este proceso, el cual libera al soldador o al operador de su casco de protección, pero esconde el camino que debe seguir el arco. Para máquinas y soldadura automática el camino es prealineado o el camino es dirigido por un reflector o apuntador guía. En la soldadura semiautomática la pistola y el alimentador de fundente son presionados contra las caras de la pieza de trabajo (usualmente juntas en T o de ranura) para controlar la localización de la soldadura. Este proceso cuenta con una penetración profunda del arco. Las juntas a tope rectas pueden soldarse en metal con espesor de 25 mm (1”) en un paso desde cada lado con penetración completa, si la junta se sigue exactamente.

La soldadura por arco sumergido (SAW), como con el proceso SMAW, tiene el elemento de fundente, aunque es granular y no un electrodo. Es muy similar al SMAW en todo con respecto a la aplicación semiautomática contra la manual. Nuevamente, las inclusiones de tungsteno no son posibles y las inclusiones de escoria son probables si los depósitos residuales de escoria no son cuidadosamente removidos.

### **Terminología y símbolos de las juntas soldadas**

Es importante que el inspector sea capaz de comunicarse efectivamente con todos los involucrados en la fabricación de productos soldados. Esta comunicación se lleva a cabo a través del uso de Códigos, especificaciones, procedimientos y otros documentos que establecen los requisitos con los cuales debe cumplir el artículo.

Aunque los documentos proporcionen las bases para la inspección, si el inspector va a tomarse demasiado tiempo para revisar toda la información, para que pueda determinar cuales son los requisitos con los que se debe cumplir, esto puede retrasar la inspección y resultar en algo ineficiente.

Un método para reducir la cantidad de información contenida en esos documentos (especialmente en dibujos) es a través de símbolos. Este método reemplaza la palabra escrita e ilustra detalles gráficos con símbolos específicos que incluyen la misma información pero de una forma abreviada. La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) ha desarrollado un estándar, el documento AWS A2.4, el cual describe la construcción e interpretación de todos los tipos de símbolos para soldadura y Pruebas no Destructivas.

Estos símbolos son un tipo de “camino corto” que proporcionan un medio para describir la información detallada considerando varios aspectos de un proyecto de soldadura, tales como:

- 1) Tipo de configuración de la junta
- 2) Forma específica de la preparación de la junta
- 3) Tipo de soldadura
- 4) Proceso de soldadura
- 5) Especificación o procedimiento
- 6) Localización de la soldadura
- 7) Extensión de la soldadura
- 8) Requisitos de calidad de la soldadura
- 9) Métodos para verificar la calidad de la soldadura
- 10) Secuencia de la soldadura
- 11) Tamaño de la soldadura
- 12) Configuración final de la soldadura
- 13) Métodos para producir esa configuración de la soldadura

Para que sean efectivos, los símbolos deben ser aplicados e interpretados adecuadamente. Si son mal aplicados o mal interpretados, pueden causar confusión más que ayudar al entendimiento de algunos detalles. Por lo que es importante que el inspector entienda completamente como son construidos, interpretados y utilizados adecuadamente.

### Tipos de configuración de las juntas

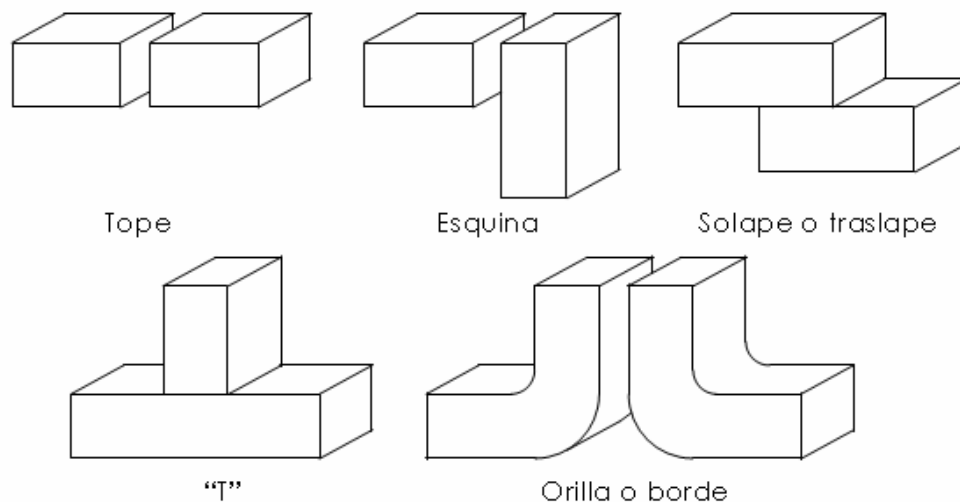
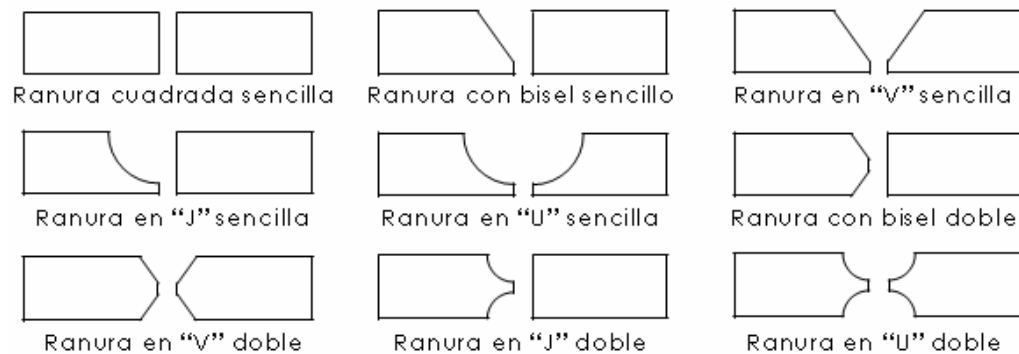


Figura No. 84: Tipos de configuración de las juntas

### Formas de preparación de las juntas

El tipo básico de ensamble soldado es la junta a tope cuadrada, en la cual, las caras con corte cuadrado original se acercan entre sí. Cuando se deja un espacio entre las caras, que es la forma más común del ensamble, al espacio se le conoce como “ranura”.

La figura No. 85, muestra diferentes tipos de ensambles, con diferentes tipos de ranuras que pueden ser usadas en la preparación de una junta a tope con penetración completa. La forma de la ranura sirve para clasificar el juego.



**Figura No. 85: Formas de preparación de las juntas**

Las ranuras pueden ser simétricas o asimétricas. En la parte inferior de la junta, que se conoce como "raíz", algunos tipos de ranura cuentan con partes planas; esta configuración es común ya que proporciona estabilidad a la esquina inferior. Además, si la esquina fuera en forma de "V" podría resultar en penetración excesiva.

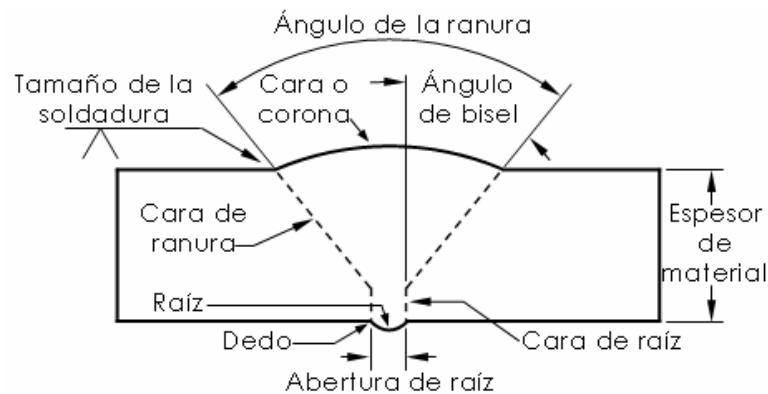
Esta zona actúa como una junta con ranura cuadrada. Cuando se requiere una serie de pasos para completar la junta, el primer paso puede ser muy crítico.

El tipo de ranura lo determina el ingeniero de diseño. Algunos factores considerados para determinar el diseño son: el espesor de la sección, el esfuerzo requerido, el proceso de soldadura que será usado, el aspecto económico, la habilidad de los soldadores y la configuración de la parte soldada. Por ejemplo, las ranuras cuadradas pueden ser usadas en secciones delgadas o cuando se fabrican costuras largas, como en tubería con soldadura automática.

En ocasiones, se utilizan placas de respaldo debido a la ubicación de la junta o porque se suelda con un proceso que no deja una raíz limpia. La forma de la ranura es una necesidad para las juntas en materiales gruesos, donde se requiere el acceso para mantener el arco y para permitir que el metal sea depositado bajo condiciones controladas. La ranura en "V" doble se usa en secciones gruesas para reducir la cantidad de soldadura aplicada y la distorsión.

### **Nomenclatura de una soldadura de ranura**

La figura No. 85 muestra los componentes de una soldadura de ranura. Los códigos, estándares y especificaciones establecen las tolerancias específicas para estos componentes. Estos parámetros son parte del procedimiento de soldadura utilizado, y la preparación normalmente es inspeccionada visualmente antes de aplicar la soldadura.



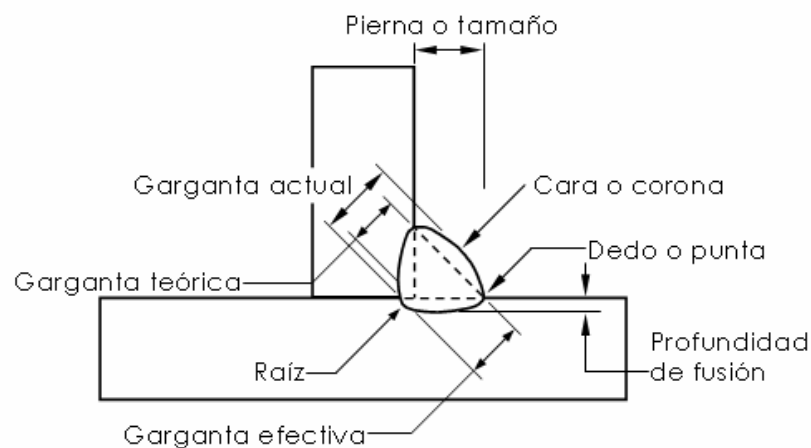
**Figura No. 85: Nomenclatura de una soldadura de ranura**

A continuación se definen los términos utilizados:

Ángulo de ranura:	El ángulo total incluido entre las caras de ranura de los miembros que están siendo unidos.
Ángulo del bisel:	El ángulo formado entre la cara de ranura de un miembro que está siendo unido y un plano perpendicular a la superficie del miembro.
Cara de ranura:	La superficie de un miembro incluida en la ranura.
Cara de raíz:	La cara de ranura adyacente a la raíz de la junta.
Abertura de raíz:	La separación entre los miembros que serán unidos en la raíz de la junta.
Espesor de material:	Espesor del material que está siendo soldado.
Tamaño de soldadura:	Este símbolo de soldadura describe el tipo de preparación de la junta y el refuerzo, como también el tamaño de la soldadura.

### Nomenclatura de una soldadura de filete

La figura No. 86 muestra los componentes de una soldadura de filete.



**Figura No. 86: Nomenclatura de una soldadura de filete**



A continuación se definen los términos utilizados para identificar los componentes de una soldadura de filete:

Pierna o tamaño:	La distancia desde la cara de fusión al dedo o punta de la soldadura.
Cara o corona:	La superficie expuesta.
Garganta actual:	La distancia más corta entre la raíz de la soldadura a la cara o corona.
Garganta efectiva:	La distancia mínima, menos cualquier convexidad, entre la raíz de la soldadura a la cara o corona.
Garganta teórica:	La distancia perpendicular desde el inicio de la junta a la hipotenusa del triángulo rectángulo más grande que pueda ser contenido en la sección transversal de la soldadura.
Dedo o punta:	La unión entre la cara de la soldadura y el metal base.
Profundidad de fusión:	La distancia a la que penetra la soldadura dentro del metal base.
Raíz:	El punto más profundo en la penetración.

### Posiciones para soldar

Existen seis posiciones reconocidas para soldar. Discontinuidades asociadas con la gravedad, con la fluidez y con la habilidad del soldador pueden ocurrir en al menos cuatro de estas posiciones: plana 1, horizontal 2, vertical 3 y sobre cabeza 4. Las cuatro posiciones son básicas y aplican para soldaduras de ranura y filete. La letra "G", que se coloca después del número de posición indica que corresponde a una ranura, "groove" por su nombre en Inglés. En soldaduras de filete la designación de la posición es del 1F al 4F.

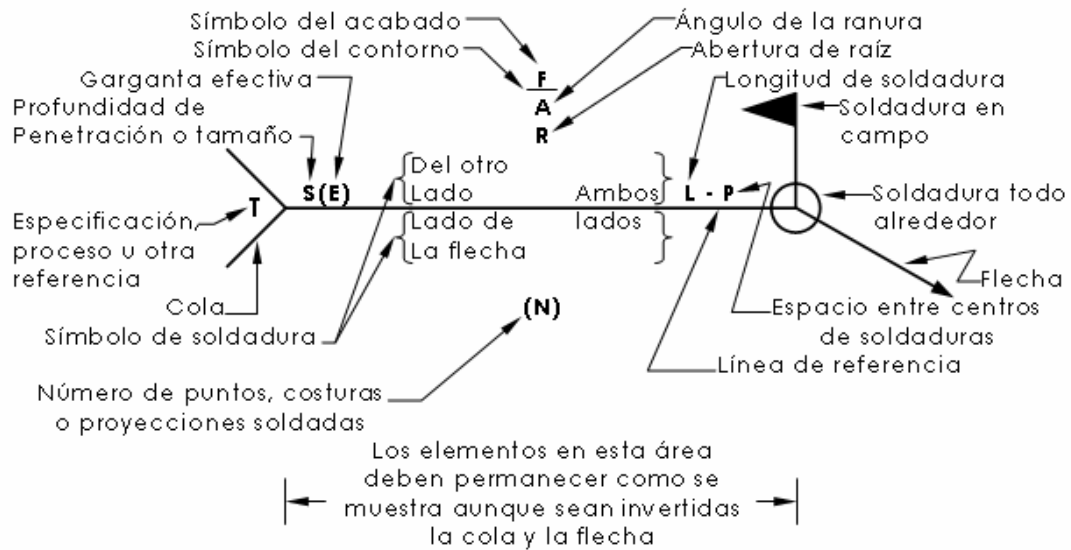
### Simbología

La soldadura deseada se muestra sobre dibujos como miembros simples. Toda la información requerida para fabricar e inspeccionar la soldadura deseada se establece en símbolos estándar de soldadura definidos por AWS.

Los símbolos consisten de ocho elementos, aunque no todos son usados a menos que sea requerido para aclarar alguna situación:

- 1) Línea de referencia
- 2) Flecha
- 3) Símbolos básicos de la soldadura
- 4) Dimensiones y otros datos
- 5) Símbolos suplementarios
- 6) Símbolos de acabado
- 7) Cola
- 8) Especificaciones, procesos o cualquier otra referencia

La figura No. 87 ilustra la localización estándar de varios elementos de la simbología de soldadura.



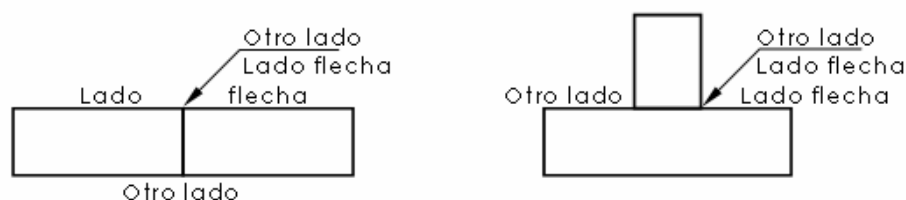
**Figura No. 87: Localización estándar de elementos de la simbología de soldadura**

El elemento primario es la línea de referencia, la cual debe aparecer sobre el dibujo como una línea horizontal, esto se debe a que existe un significado si la información aparece arriba o debajo de la línea.

El siguiente elemento es la flecha, la cual se conecta a uno de los extremos de la línea de referencia y apunta hacia uno de los lados de la junta soldada. El lado en el cual apunta la flecha es referido como el "lado de la flecha", mientras que el opuesto es el "otro lado". Una vez que los lados han sido asignados colocando la flecha, es posible especificar información relacionada con cualquiera de los lados.

Cualquier información colocada debajo de la línea de referencia se relaciona con el lado de la junta hacia el que apunta la flecha.

La información colocada arriba de la línea de referencia se relaciona con el otro lado de la junta, figura No. 88.



**Figura No. 88: Lado flecha y otro lado**

Esta regla nunca cambia, no importa en cual extremo de la línea de referencia se encuentre la flecha o la dirección en la que apunte. La figura No. 89 muestra varios símbolos de soldadura describiendo soldaduras del lado de la flecha, pero con la flecha orientada en diferentes

direcciones y en ambos extremos de la línea de referencia, sin embargo, las operaciones deberán realizarse en el lado de la junta hacia el cual apunta la flecha.



Figura No. 89: Soldaduras del lado de la flecha

Una vez que la línea de referencia y la flecha han sido colocadas en su lugar, puede ser agregado el siguiente elemento de la simbología. En esta parte, el símbolo de soldadura describe cual será la configuración de la soldadura. La figura No. 90 ilustra los símbolos de soldadura básicos que son comúnmente utilizados.

Los símbolos se dibujan sobre la línea de referencia, que aparece como intermitente. Algunos de los símbolos son colocados de tal forma que la línea de referencia cruza por la mitad, por ejemplo en la soldadura por punteo (spot), esto simplemente implica que la soldadura no tiene un lado de aplicación, no hay diferencia en cual lado sea el lado de la flecha. Con excepción de la soldadura superficial (surfacing), la cual siempre aparece como soldadura del lado de la flecha, todos los otros tipos pueden aparecer del lado de la flecha, del otro lado o en ambos lados.

Otra característica que debe notarse es que para todos los símbolos de soldadura que representan soldaduras en las que solo uno de los miembros requiere preparación, el lado perpendicular del símbolo siempre aparece en el lado izquierdo.

GROOVE							
SQUARE	SCARF	V	BEVEL	U	J	FLARE-V	FLARE-BEVEL

FILLET	PLUG OR SLOT	STUD	SPOT OR PROJECTION	SEAM	BACK OR BACKING	SURFACING	EDGE

Figura No. 90: Símbolos de soldadura básicos

También existen elementos adicionales que pueden ser empleados para detallar otra información importante. Este grupo de símbolos es referido como “símbolos suplementarios”, porque pueden ser combinados con muchos de los símbolos de soldadura mencionados. Estos símbolos suplementarios se ilustran en la figura No. 91.

WELD ALL AROUND	FIELD WELD	MELT THROUGH	CONSUMABLE INSERT (SQUARE)	BACKING OR SPACER (RECTANGLE)	CONTOUR		
					FLUSH OR FLAT	CONVEX	CONCAVE
				BACKING			
				SPACER			

Figura No. 91: Símbolos suplementarios

Para soldaduras de ranura, el diseñador puede designar el miembro que debe ser preparado, utilizando una flecha con un cambio de dirección de la línea. El siguiente segmento hacia el que apunta la flecha ese será el miembro que debe ser preparado, figura No. 92.

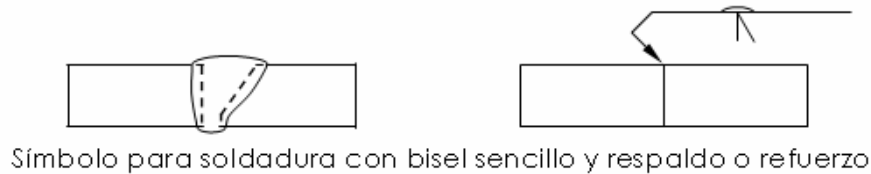


Figura No. 92: Cambio de dirección en la línea de la flecha

Para soldaduras de ranura, después de designar el tipo de ranura requerida y el lado o lados desde donde debe ser depositada la soldadura, se necesita otra información. La mayoría de datos están relacionados con las dimensiones requeridas. Las dimensiones necesarias incluyen: la configuración de la junta, el tamaño de la soldadura y la extensión.

Algunas de las dimensiones de la ranura son colocadas dentro o ligeramente fuera del símbolo de la soldadura. La figura No.93 muestra las dimensiones relacionadas con la abertura de raíz requerida y el ángulo de la ranura.

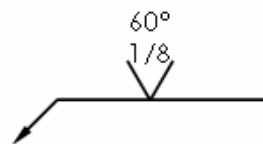
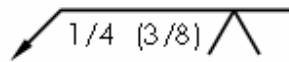


Figura No. 93: Detalles de la abertura de raíz y el ángulo de la ranura

Otro dato importante para la preparación de la ranura es la profundidad de la preparación. Esta dimensión debe aparecer a la izquierda del símbolo de la soldadura. La dimensión dentro del paréntesis se refiere a la penetración de la junta, o garganta efectiva, requerida, figura No. 94. Si la profundidad de preparación y la garganta efectiva no son especificadas, se considera que la soldadura requerida debe ser de penetración completa.



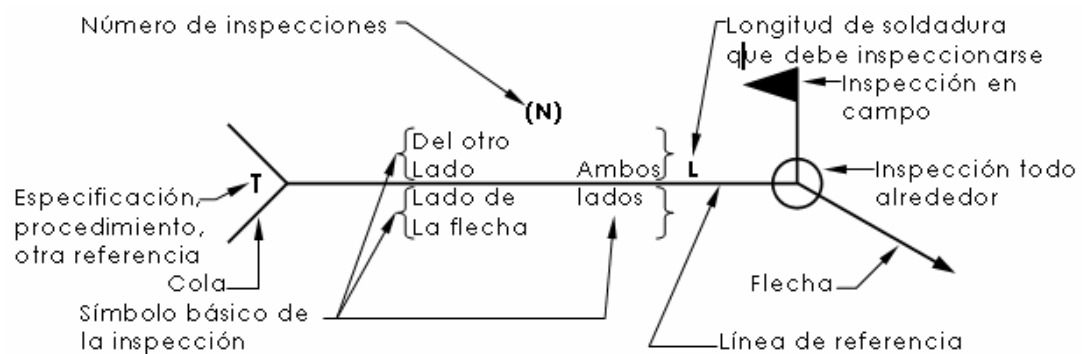
**Figura No. 94: Profundidad de preparación y penetración de la junta**

El elemento final del símbolo es la cola. No es considerada como un elemento esencial pero puede ser utilizada efectivamente para incluir otra información importante que no puede ser comunicada adecuadamente sobre el símbolo. Cuando se utiliza, la cola se coloca en el lado opuesto a la flecha. Alguna de la información típica que puede incluir es: el número de procedimiento, el tipo de proceso, número de especificación, tipo del metal de aporte, etc.

### Símbolos para pruebas no destructivas

Una vez que se han concluido las operaciones de soldadura, puede ser necesario inspeccionar las juntas, para determinar si han sido satisfechos los requisitos de calidad aplicables.

Si se requieren, las pruebas pueden ser especificadas a través del uso de símbolos de pruebas no destructivas, los cuales pueden ser construidos de una forma muy similar a la simbología de soldadura. La figura No. 95 muestra el arreglo general de los elementos básicos de los símbolos para pruebas no destructivas.



**Figura No. 95: Localización estándar de elementos de pruebas no destructivas**

Como en la simbología de soldadura, la información debajo de la línea de referencia se refiere a las operaciones de inspección que se deben realizar en el lado de la flecha de la junta, y la información arriba de la línea describe el otro lado. Los símbolos básicos de inspección son letras que designan cada prueba.

Para describir la extensión requerida de la inspección, se coloca un número a la derecha del símbolo de la prueba requerida, que se refiere a la longitud de la soldadura que debe ser inspeccionada. Si la dimensión no existe, esto implica que debe ser inspeccionada la longitud total de la junta. Otra forma de describir la extensión de la inspección es especificando un porcentaje de la longitud de la soldadura o el número de piezas que deben ser inspeccionadas. Los símbolos de inspección pueden ser combinados con los símbolos de soldadura.

### **Inspección de soldaduras**

Las juntas soldadas y las soldaduras terminadas se describen en términos de sus características.

Para una junta a tope, la preparación de la junta se describe por la abertura de raíz, la cara de raíz, la cara de ranura y el ángulo de bisel. La soldadura se describe por la raíz, el dedo, la sección transversal (garganta), corona (cara) y el refuerzo.

Las soldaduras de filete se describen por las piernas, la raíz, el dedo, la corona (cara) y la garganta. Las soldaduras de filete pueden ser convexas o cóncavas.

La inspección visual se realiza antes de aplicar la soldadura para asegurar que la preparación de la junta fue hecha de acuerdo con la especificación que esté siendo utilizada. La inspección visual se realiza durante la aplicación de la soldadura para asegurar que la soldadura que está siendo fabricada se encuentra de acuerdo con la especificación. También se realiza después de completar la soldadura para determinar las características dimensionales y geométricas, y para localizar discontinuidades de soldadura.

La mayoría de inspecciones visuales de soldaduras se realiza manualmente con herramientas de mano simples, una fuente de iluminación y magnificación, cuando sea requerido. Los procedimientos de soldadura pueden ser calificados por pruebas de metalografía y de tensión de juntas representativas.

Debido a los patrones fuertemente lineales de las características y discontinuidades de soldadura, no es práctica la inspección automatizada de soldaduras utilizando máquinas de visión. Además, debido a la gran cantidad de inspecciones realizadas en la fabricación de soldaduras, está en proceso la búsqueda de algoritmos que puedan computarse y que sean capaces de separar indicaciones no relevantes de discontinuidades.

Es esencial que quién realice la inspección visual entienda al menos los conceptos básicos de las uniones metalúrgicas, procesos de soldaduras, términos, símbolos y detalles de la fabricación. No puede realizarse una inspección de soldadura competente ni comunicar los resultados sin el entendimiento de esos factores básicos.

### **“Brazing” y “soldering”**

Los procesos de “brazing” y “soldering” unen metales usando un metal de aporte que alcanza su punto de fusión antes que el metal base. Por definición, los materiales de aporte para el proceso “brazing” tienen un punto de fusión arriba de 427 °C (800 °F), y los materiales de aporte para el proceso “soldering” funden por debajo de esta temperatura.

Los procesos “brazing” y “soldering” unen materiales metálicos calentando el material base a una temperatura lo suficientemente alta para fundir el material de aporte. Una vez fundido, el material de aporte se distribuye por acción capilar entre las superficies de unión.

Gracias a que el calor aplicado durante el “brazing” no ocasiona que el material base se funda, el ensamble completo puede ser unido simultáneamente sin que sean afectadas las propiedades del material base. El proceso de “brazing” permite unir diferentes tipos de materiales base con menos dificultad que la soldadura. El “brazing” produce una unión una vez que el material de aporte y el material base se han enfriado, pero la falta de fusión entre ambos produce una junta con una resistencia considerablemente menor que la de una junta soldada. Los procesos comunes de “brazing” son identificados por el método utilizado para la aplicación del calor, por ejemplo “brazing” con antorcha y “brazing” con horno.

El proceso de “brazing” con antorcha físicamente se compara con el proceso de soldadura con antorcha. El calor es aplicado por una antorcha de gas y el material de aporte es alimentado en el área de la junta manual o automáticamente. Los tipos de materiales de aporte son varillas, polvos y pastas.

Las discontinuidades comunes del proceso “brazing” incluyen cavidades, erosión, la falta de fusión y la penetración incompleta del material de aporte en la junta. Las discontinuidades no pueden ser detectadas normalmente por inspección visual y requieren inspección radiográfica o prueba de fuga para localizarlas. La inspección visual de juntas por “brazing” es para propósitos cosméticos.

El proceso “soldering” es más comúnmente utilizado para juntas que son sujetas a esfuerzos relativamente menores. Una aplicación común es el uso del proceso “soldering” para juntas en conexiones eléctricas. Se utiliza la magnificación para la inspección visual de juntas por “soldering” y también se utilizan máquinas de visión.

## **Sujetadores**

Un sujetador es un dispositivo que sirve para sujetar o unir dos o más miembros. Los sujetadores se pueden clasificar en: pernos, espárragos, remaches, pasadores, tornillos, etc. Sin embargo, los más ampliamente utilizados son los sistemas de tornillos.

La denominación que se da a los sujetadores roscados depende de la función para la que fueron hechos y no de cómo se emplean realmente en casos específicos. Si se recuerda este hecho básico, no será difícil distinguir entre un tornillo y un perno.

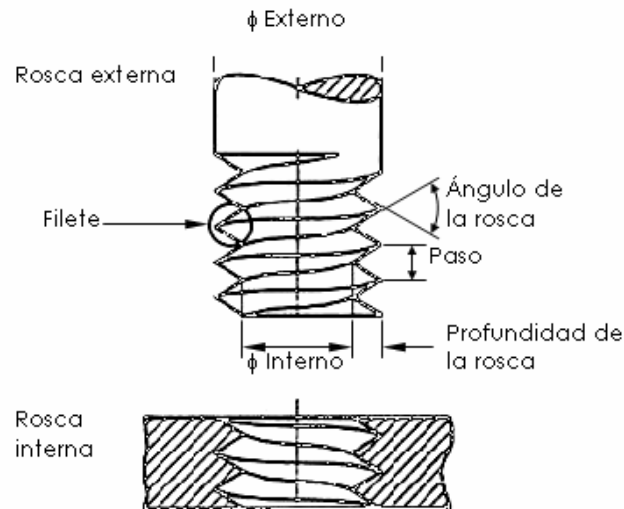
Si un elemento está diseñado de tal forma que su función primaria sea quedar instalado dentro de un agujero roscado, recibe el nombre de tornillo, el cual se ajusta aplicando un par de torsión en su cabeza.

Si un elemento está diseñado para ser instalado con una tuerca, se denomina perno. Así, los pernos se ajustan aplicando un par de torsión a la tuerca.

Un espárrago (o perno con doble rosca, birlo) es una varilla con rosca en sus dos extremos; un extremo entra en un agujero roscado y el otro recibe una tuerca.

Los sujetadores son una muy buena selección de ensamble, es el único método en que se puede desensamblar sin hacer daño, incluyendo los remaches, cuando se hace con habilidad.

La mayoría de los sujetadores son conformados en frío obteniendo con ello una buena calidad de grano, los sujetadores roscados pueden ser maquinados, aunque la mayoría son rolados debido a que sus propiedades estáticas y de fatiga son mejoradas. La figura No. 96 muestra los componentes de una rosca:



**Figura No. 96: Componentes de una rosca**

Las definiciones de los componentes de una rosca son:

Rosca:	Es un filete continuo de sección uniforme y enrollada, como una elipse, sobre la superficie exterior e interior de un cilindro.
Rosca externa:	Es una rosca en la superficie exterior de un cilindro.
Rosca interna:	Es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca.
Diámetro externo:	El mayor diámetro de una rosca interna o externa.
Diámetro interno:	El menor diámetro de una rosca interna o externa.
Diámetro en los:	Es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa flancos(o medio) por los filetes en el punto en el cual el ancho de estos es igual al espacio entre los mismos.
Paso:	Es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. Es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente, medida paralelamente al eje.
Avance:	Es la distancia que avanzaría el tornillo, con relación a la tuerca, en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, y para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso.



## Inspección de sujetadores

La inspección en sujetadores a menudo se pasa por alto durante la inspección de equipo, pero es un aspecto extremadamente importante en la integridad del equipo. La mayoría de inspectores está familiarizado con la inspección de soldadura, incluso con pruebas como ultrasonido o radiografía, entre otras, desafortunadamente los sujetadores no reciben frecuentemente la misma consideración.

En la inspección de sujetadores roscados puede ser complicada la evaluación correcta de las características dimensionales de la rosca, dependiendo de la exactitud requerida. Para esas evaluaciones puede recurrirse a los calibradores de roscas del Sistema 21, que son calibradores pasa / no pasa, y a los del Sistema 22. Estos calibradores de roscas, para productos manufacturados, son controlados por el Estándar Federal de EU H28/20 y por ANSI/ASME B1.3.

Para el inspector de campo, la inspección visual de los sujetadores incluye asegurar que son del tamaño correcto y que están marcados, con el grado de aleación y el fabricante, para asegurar que han sido fabricados de acuerdo con especificaciones apropiadas. Inicialmente, los sujetadores deberían ser inspeccionados para detectar discontinuidades de manufactura incluyendo las producidas por los procesos primario, secundario y de acabado.

Otras verificaciones de la calidad de sujetadores son: calidad de la rosca, calidad y espesor de recubrimiento, dureza y forma de la rosca.

Los sujetadores son susceptibles de falla debido a diferentes mecanismos, por lo que un plan de inspección debería considerar los factores ambientales que pueden contribuir a la falla. Los factores ambientales que causan falla en sujetadores incluyen a la vibración, condiciones térmicas, cargas mecánicas y corrosión.

Las ubicaciones más comunes de falla de sujetadores en servicio son: el radio entre la cabeza y cuerpo, la transición entre el cuerpo la rosca y en el primer hilo de la rosca.

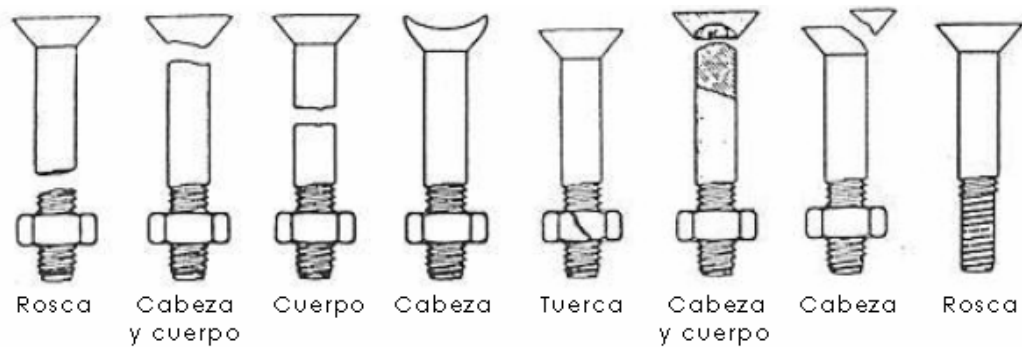
Las causas comunes de fallas en sujetadores son:

- Material incorrecto
- Tratamiento térmico inadecuado (control de la temperatura)
- Ensamble inapropiado (desalineamiento, torque excesivo, etc.)
- Tipo incorrecto de sujetador para la instalación
- Corrosión (galvánica y de hendidura)
- Fatiga (en el primer hilo, en la cabeza, etc.)
- Grietas por mal tratamiento térmico
- Esfuerzos de corrosión (control de torque y protección contra corrosión)

Las fallas más comunes en los sujetadores roscados son:

- Fallas por tensión
- Fallas por corte
- Ruptura de tuercas

La figura No. 97 muestra algunas fallas en sujetadores roscados.



**Figura No. 97: Fallas en sujetadores roscados**

Si el sujetador es desensamblado, puede medirse para detectar cambios en el diámetro, como la reducción localizada en el área bajo condiciones de sobrecarga.

### Servicio

- Recubrimientos

Los productos de metal y de otros materiales, en ocasiones son cubiertos para reducir el desgaste, para prevenir y evitar la corrosión del material base o para resaltar la apariencia de un producto. Algunos recubrimientos son utilizados como aislantes eléctricos, mientras que otros proporcionan lubricación o supresión del sonido. Los recubrimientos y acabados se dividen en acabados orgánicos, acabados inorgánicos y recubrimientos por conversión.

### Acabados orgánicos

Son comúnmente conocidos como pinturas. Ellos forman una película sobre el metal u otro sustrato. Los recubrimientos orgánicos incluyen a las pinturas de aceite, pinturas epóxicas, pinturas de silicón, barnices y esmaltes, poliéster, lacas, acrílicos, celulosa, vinyl, poliuretano, nylon, polipropileno, fluorocarbón y recubrimientos fenólicos. Todos los Recubrimientos orgánicos forman enlaces cohesivos con ellos mismos y enlaces adhesivos con el material base.

Las pinturas son más comúnmente utilizadas para prevenir la corrosión y para resaltar la apariencia. La habilidad de la pintura para adherirse al sustrato y la apariencia final del recubrimiento es altamente dependiente de la condición superficial del sustrato. Antes de la aplicación de la pintura la superficie del sustrato debe ser evaluada para verificar su limpieza, textura, la presencia de rayones y porosidad. Para mejorar la adhesión y evitar la oxidación, puede ser aplicado un recubrimiento primario. El recubrimiento primario también puede ser usado para reducir el efecto de irregularidades superficiales.

Los controles del proceso de pintura pueden incluir pruebas de viscosidad. La mayoría de inspecciones visuales y de óptica de pintura son para verificar el color y el brillo, utilizando estándares de comparación, colorímetros, espectrógrafos y medidores de brillo fotoeléctricos, y además para determinar la consistencia en la aplicación del recubrimiento.

## Acabados inorgánicos

Los recubrimientos inorgánicos más comunes son los esmaltes y las cerámicas porcelanizadas. Los esmaltes porcelanizados consisten de una matriz de vidrio y son usualmente aplicados al sustrato de metal para proporcionar una capa protectora y para mejorar la apariencia. La capa de porcelana se funde sobre el metal y proporciona un alto grado de resistencia química y a la corrosión.

Estos recubrimientos son extremadamente duros y tersos. La superficie del sustrato debe estar libre de defectos mayores antes de la aplicación.

La inspección y controles del proceso son los mismos que para otros productos cerámicos, las indentaciones pueden atrapar contaminantes que causen ampollas en el producto terminado.

Después de la aplicación del esmalte porcelanizado el recubrimiento es expuesto al fuego, puede ser en un horno, y posteriormente se permite que se enfríe. Si va a aplicarse más de una capa de recubrimiento, debe realizarse una inspección visual para detectar defectos y repararlos antes de la aplicación de la capa siguiente.

Los recubrimientos porcelanizados son inspeccionados para detectar manchas, ampollas, protuberancias y para evaluar el color y el brillo, esto utilizando los mismos métodos que para la inspección de pinturas.

## Recubrimientos por conversión

Los recubrimientos por conversión convierten la capa superficial del metal en un compuesto de metal que contiene cromatos, fosfatos u óxidos. El uso más común de los recubrimientos por conversión es como preparación para la aplicación de pintura, pero las superficies anodizadas son frecuentemente vistas como un acabado final.

En los recubrimientos de fosfatos, el hierro o el acero es cubierto con una solución diluida de ácido fosfórico para producir un recubrimiento de fosfato con hierro, zinc, plomo o manganeso. Los recubrimientos de fosfato de hierro y zinc son usados en la preparación para aplicar pintura.

Los recubrimientos de fosfato de manganeso proporcionan lubricación a la superficie. Todos los recubrimientos por conversión de fosfato proporcionan buena resistencia al desgaste y protección contra la corrosión.

Todos los recubrimientos de fosfatos requieren limpieza previa y posterior de la superficie. Los recubrimientos de fosfatos son inspeccionados visualmente para verificar la adherencia, la coloración y la presencia de una estructura cristalina uniforme.

Los recubrimientos de cromatos utilizan un ácido inorgánico y un ion de cromo para disolver parte de la superficie del metal y para formar una película protectora que contiene un compuesto de cromo. Los recubrimientos de cromatos no son porosos y proporcionan una alta resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica. La inspección visual se aplica para asegurar la adherencia y las propiedades cosméticas.

## Inspección visual de recubrimientos

Los espesores de los recubrimientos se miden utilizando calibradores que operan por ultrasonido, por corrientes Eddy o por efecto Hall, con presentaciones digitales. Por la composición química y el espesor de algunos recubrimientos, son inspeccionados con sistemas que operan por fluorescencia de rayos "X".

Los microscopios de barrido son utilizados para determinar el espesor de algunos recubrimientos y para obtener datos de las propiedades físicas, químicas y eléctricas. Esta información es usada para predecir la dureza, fricción y conductividad térmica. Un sistema típico de microscopio de barrido utiliza una fuente de luz láser para la iluminación. El uso de luz coherente permite cuantificar características superficiales.

### ○ Válvulas

Una válvula es un dispositivo mecánico que detiene o permite el flujo, regula la cantidad de flujo o regula la dirección de flujo de un gas o líquido. Cuando está completamente abierta, la válvula perfecta no debería ofrecer resistencia al flujo más que el equivalente a la longitud idéntica de tubo. Cerrada, la válvula perfecta no debería permitir el paso del fluido.

Además, debería resistir la distorsión por la presión interna del fluido y las cargas de la tubería conectada. También, es necesario que soporte los efectos dinámicos, temperatura, caídas de presión, vibración, corrosión, desgaste, erosión y daños por objetos grandes en el producto que se maneja.

Ya que ninguna válvula puede cumplir con todas las funciones a un grado aceptable, los diseñadores han establecido prioridades en las funciones y han sido diseñados diferentes tipos de válvulas que incorporen uno o más de los atributos deseados mencionados.

Por ejemplo, una válvula cuyo diseño principal debería ser permanecer abierta durante la operación normal, y que solamente sea cerrada para mantenimiento, debería ser diferente de una válvula cuyo propósito principal sea controlar la cantidad de fluido conducido o desde un componente particular.

En el primer caso, la prioridad es un buen sello cuando esté cerrada y una mínima resistencia al flujo cuando esté abierta. En el segundo caso la prioridad de la válvula es controlar efectivamente el flujo.

En este caso, el diseñador no dudaría en seleccionar diferentes válvulas para realizar estas funciones ya que los atributos que son una ventaja en una aplicación pueden ser una desventaja en otra.

Para el inspector visual es esencial familiarizarse con los tipos, diseños y funciones básicas de las válvulas, para que pueda reconocer e identificar discontinuidades, tanto de fabricación como de servicio, que pudieran causar una falla si no son descubiertas y reparadas.

Aunque hay muchos tipos de válvulas, la mayoría de ellas pueden ser catalogadas como se describe a continuación:

- a) Válvulas de compuerta
- b) Válvulas de globo
- c) Válvulas check
- d) Válvulas de diafragma
- e) Válvulas de bola y de obturador (tapón)
- f) Válvulas de mariposa
- g) Válvulas de seguridad y de alivio

Cada tipo de válvula también es catalogada de acuerdo con su operación y funciones primarias, tabla 6.1. Con base en su operación, las válvulas pueden ser catalogadas de acuerdo con el movimiento requerido para operarlas, estas pueden ser operadas en dos formas: con movimiento lineal o rotatorio.

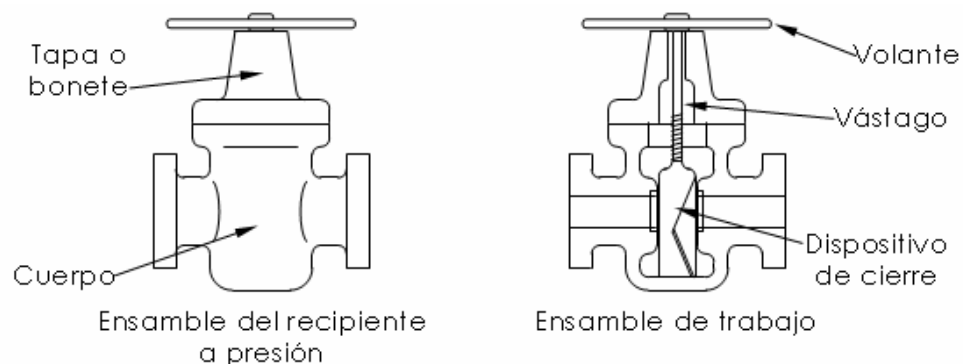
Las válvulas pueden ser catalogadas en tres subdivisiones, de acuerdo con sus funciones en: válvulas que inician o paran el flujo, válvulas que regulan la cantidad del flujo y válvulas que permiten el flujo en una sola dirección, unidireccionales.

**Tabla 6.1: Categorías de válvulas**

Operación	Función		
	De inicio o paro	De regulación	Unidireccional
Movimiento Lineal	De compuerta De alivio De seguridad	De globo De diafragma	Lift check
	De inicio o paro	De regulación	Unidireccional
Movimiento Rotatorio	De tapón De bola De Mariposa	De Mariposa	Swing check

### Partes de las válvulas

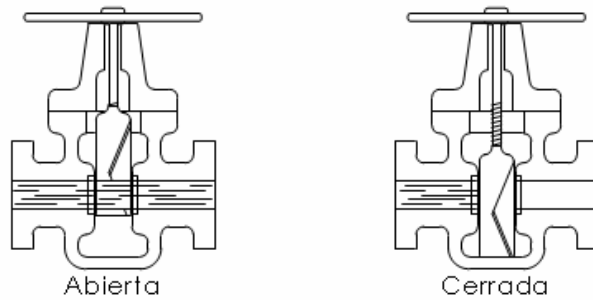
Existen dos ensambles básicos asociados con las válvulas de plantas de poder: el ensamble del recipiente a presión y el ensamble de trabajo, figura No 98.



**Figura No. 98: Ensamble de una válvula de plantas de poder**

## a) Válvulas de compuerta

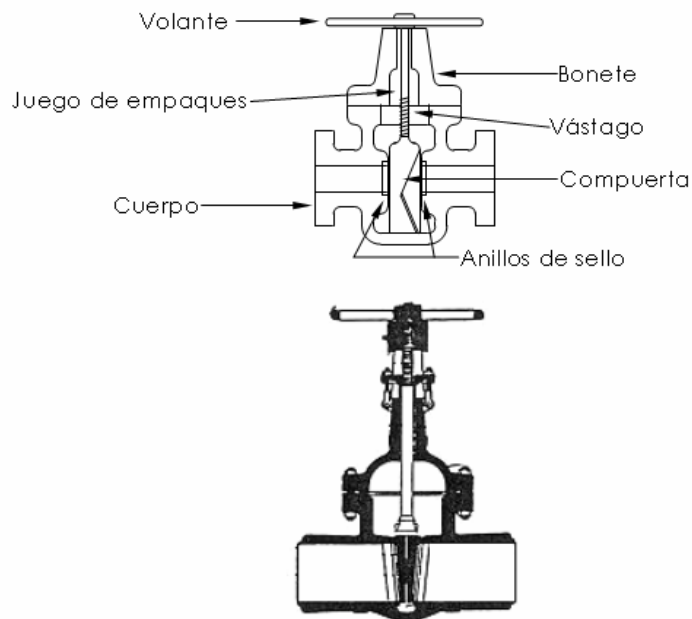
El principio básico de una válvula de compuerta es cerrar un conducto en línea por medio del deslizamiento de una cuña colocada en ángulo recto con respecto a la trayectoria del flujo. Cuando la compuerta o cuña se mueve hacia abajo, se desliza entre dos anillos de asiento, figura No. 99, y el flujo es detenido.



**Figura No. 99: Válvula de compuerta**

La figura No. 100 muestra un dibujo simplificado de una válvula de compuerta. La parte inferior o cuerpo sirve para contener el flujo de fluido y como contenedor y guía de la compuerta. La parte superior, bonete o tapa, contiene el vástago, el mecanismo y el juego de empaques que sellan el bonete y el vástago, para evitar la fuga del fluido hacia la atmósfera.

Cuando se gira el volante, el vástago puede girar solamente o ser atornillado para que suba y baje, con lo que mueve la compuerta. El movimiento giratorio del volante resulta en movimiento vertical de la compuerta. Existen compuertas sólidas, de una sola pieza, sin flexibilidad y compuertas de dos piezas, flexibles.



**Figura No. 100: Válvula de compuerta**

### Inspección visual en válvulas de compuerta

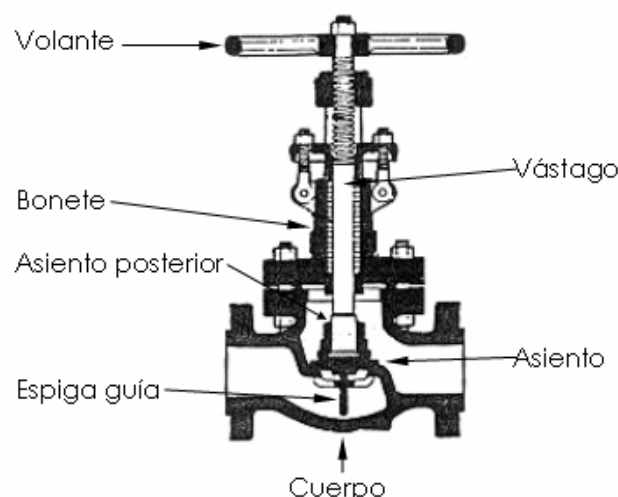
- Examinar las superficies de asentamiento entre cuerpo-compuerta para detectar daños físicos como grietas, ralladuras, desgaste adhesivo, picaduras, indentaciones, etc.
- Examinar las superficies guías para detectar claros, desgaste adhesivo, erosión, corrosión, desalineamiento, etc.
- Examinar las superficies internas del cuerpo para detectar erosión y desgaste, particularmente en el lado de contracorriente (aguas arriba) de la compuerta y en el lado de salida de corriente (aguas abajo) en el cuerpo.
- Examinar la conexión vástago-compuerta para detectar desgaste y corrosión.
- Examinar la rosca del vástago, compuerta y/o tuerca del volante para detectar desgaste adhesivo, desgaste general y corrosión.

### b) Válvulas de globo

La habilidad de las válvulas de globo radica en su capacidad de sello y en el control del flujo con la mayoría de presiones y temperaturas, lo que las hace un elemento indispensable en sistemas de tuberías. El principio de las válvulas de globo, figura No. 101, es el movimiento perpendicular del disco a partir del asiento, lo que permite el control del fluido. El disco está unido a un vástago que, al girar, sube y baja causando un movimiento vertical del disco.

Las válvulas de globo de baja presión están provistas con una espiga guía abajo del disco, para asegurar que el disco ajuste adecuadamente en el asiento.

Una desventaja importante de las válvulas de globo es la pérdida por alta fricción, que resulta de los dos o más cambios en la dirección del flujo. Las áreas dentro de la válvula que causan los cambios de dirección son las más susceptibles al desgaste y erosión y deberían ser cuidadosamente examinadas por el inspector visual. Las superficies de contacto del disco y de los asientos también son susceptibles al desgaste debido al estrangulamiento extremo del fluido.



**Figura No. 101: Válvula de globo**

### Inspección visual en válvulas de globo

- Examinar las superficies de asentamiento entre disco-cuerpo para detectar daños físicos tales como grietas, ralladuras, desgaste adhesivo, etc.
- Examinar las superficies guías para detectar evidencia de desgaste adhesivo, desgaste y claros.
- Examinar las superficies internas del cuerpo para detectar erosión, desgaste, etc.
- Examinar la conexión vástago-disco para detectar separaciones
- Examinar el vástago y la caja de empaques para detectar corrosión, etc.

#### c) Válvulas lift y swing check (de retención)

Una válvula check esta diseñada para evitar que el fluido fluya en dirección inversa dentro de un sistema de tubería. Las válvulas check caen dentro de dos tipos básicos: de obturador ascendente (lift) y de disco oscilante (swing). En una válvula de obturador ascendente (lift), figura No. 102, la presión del fluido, normalmente de izquierda a derecha, levanta el disco para permitir el paso, abriéndola. Cuando el fluido es de derecha a izquierda, la presión de salida se vuelve mayor que la presión de entrada, entonces la presión del fluido empuja el disco contra el asiento cerrándola.

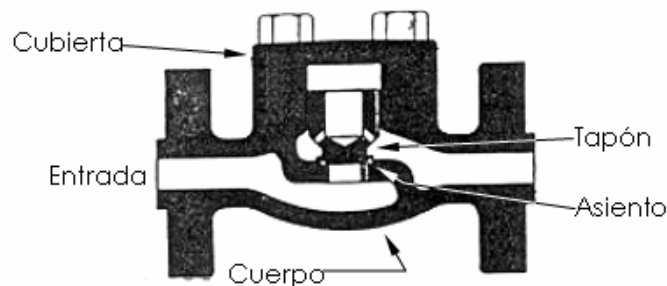


Figura No. 102: Válvula lift check

En una válvula de disco oscilante (swing), figura No. 103, cuando la presión es más alta debajo del disco lo hace girar, abriendo la válvula. Pero, si la presión arriba del disco es mayor que debajo de él, la presión del fluido empujará el disco forzándolo contra el asiento, cerrando la válvula y suspendiendo el flujo.

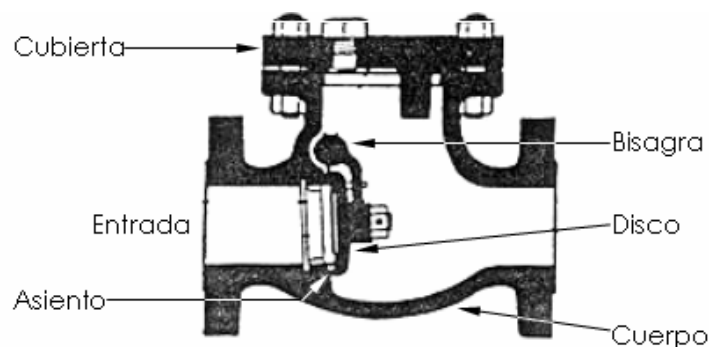


Figura No. 103: Válvula swing check



La confiabilidad en la válvula check debe ser alta ya que una falla en el cierre o un flujo contrario, aún en una sola ocasión en la vida de la válvula, pueden causar un gran daño.

No solamente debe cerrar, también debe cerrar de acuerdo con la relación posición / tiempo. La válvula check que cierra tarde y repentinamente puede destruirse a sí misma incluyendo la tubería y los soportes. Una válvula check satisfactoria debería, por lo tanto debe:

- Abrir fácil y completamente para que pase el fluido con un mínimo de caída de presión o turbulencia conforme a los patrones de flujo.
- Resistir daños en el asiento, disco, bisagra o mecanismos de guía, bajo cualquier condición del flujo.
- Cerrar rápidamente sin dañar la válvula o sin transiciones extremas de presión (conocido como martillo de agua) en el instante que el fluido se detenga.

El grado requerido de sello de una válvula check depende del servicio. Alguna fuga es a menudo permitida, las especificaciones de las válvulas deberían ser consultadas para determinar la fuga aceptable de una válvula particular.

### **Inspección visual en válvulas lift check**

La inspección es similar a la que se realiza en las válvulas de globo.

### **Inspección visual en válvulas swing check**

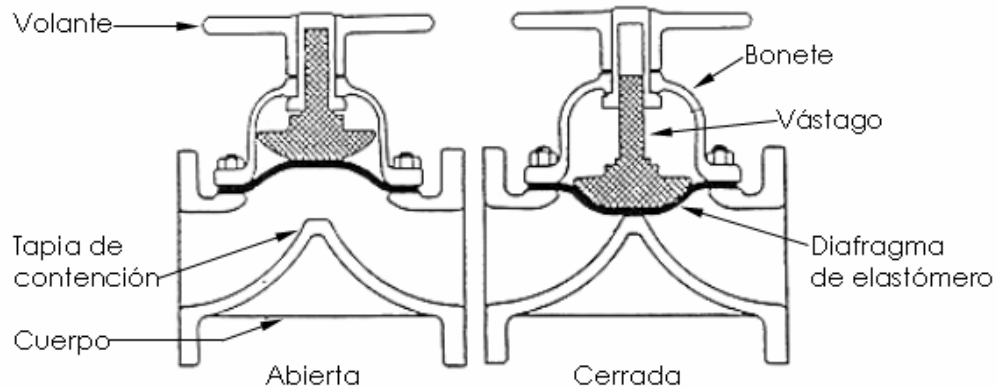
- Examinar las superficies de asentamiento entre disco-cuerpo para detectar daños físicos.
- Examinar el anillo de asiento para detectar fuga
- Verificar la instalación del disco
- Examinar el perno de la bisagra, la bisagra y el disco para detectar desgaste, desalineamiento y claro.

#### **d) Válvulas de diafragma**

La mayoría de las válvulas depende de una geometría controlada y de materiales rígidos para realizar el cierre. La válvula de diafragma, figura No. 104, opera sobre bases completamente diferentes; una lámina de elastómero altamente flexible es forzada contra una orilla rígida, llamada asiento, lo que hace la función de cierre.

Ya que el diafragma forma parte de la frontera de la presión, la parte superior de la válvula, incluyendo el vástago, no está sujeta a la presión del fluido. Esto elimina la necesidad de mecanismos de empaque ajustables, la ventaja más importante, particularmente en sistemas que contienen residuos radiactivos o líquidos corrosivos.

Una ruptura del diafragma, ya sea por flexión, corte o impacto del fluido, dejará pasar el fluido al bonete de la válvula. A menudo, el bonete está provisto de un venteo, lo que permite verificar la presencia de fugas. Reemplazar un diafragma no es difícil, pero la reparación de un bonete o tapa contaminada o corroída si lo es.



**Figura No. 104: Válvula de diafragma**

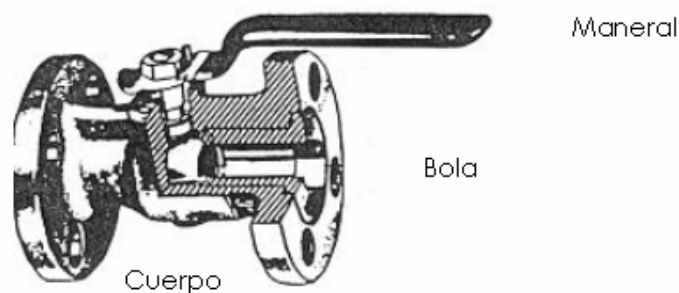
### Inspección visual en válvulas de diafragma

- Examinar la superficie de sello para detectar corrosión, erosión y daños físicos.
- Examinar el diafragma para detectar envejecimiento, grietas, etc., particularmente en la conexión del cuerpo al bonete.
- Examinar el mecanismo interno de la válvula para detectar corrosión, ataque de vapor, etc.

### e) Válvulas de bola y de obturador

Las válvulas de bola y de obturador son usadas por sistemas de aislamiento. En la mayoría de estas válvulas se utiliza un cilindro, un cono o una esfera, con un agujero transversal, figura No. 105. La rotación de esta unidad, cerradamente ajustada al cuerpo de la válvula, alinea la cavidad con el paso de entrada y salida cuando la válvula está abierta. Un giro de 90° cierra la válvula, el obturador o la bola presenta una superficie sólida al fluido tanto en la entrada como en la salida.

La principal diferencia en las válvulas de obturador y de bola es que en las válvulas de bola la esfera es soportada por dos anillos de sello, uno en cada lado de apertura de la válvula, y en el caso de las válvulas de obturador, el sello depende de un claro muy estrecho entre el obturador y el cuerpo de la válvula para pueda soportar y evitar la fuga.



**Figura No. 105: Válvula de bola**

### Inspección visual en válvulas de bola

- Examinar las superficies de asentamiento para detectar daños físicos, particularmente en la línea central horizontal.
- Examinar los mecanismos de conexión para detectar corrosión desgaste, etc.
- Inspección visual en válvulas de obturador
- Examinar lo mismo que en una válvula de globo.
- Verificar los claros cuando sea reemplazado el obturador.
- Verificar el alineamiento del obturador con los ductos de entrada y salida de la válvula.

### f) Válvulas de mariposa

El principio de la válvula de mariposa, figura No. 106, es que un disco, de forma simétrica, perpendicular al paso del flujo, a través del cuerpo de la válvula, impedirá el flujo de la misma forma que lo hace una válvula de compuerta. Sin embargo, para permitir el flujo, en lugar de remover una compuerta, el disco es rotado 90°, de modo que quede paralelo a la dirección del flujo.

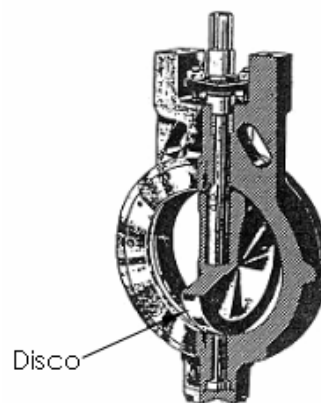


Figura No. 106: Válvula de mariposa

Las ventajas de la válvula de mariposa es que son ligeras, pequeñas, relativamente baratas y pueden ser usadas para regular el flujo.

Las principales áreas de las válvulas de mariposa son el área de asentamiento del cuerpo y el área de asentamiento del disco. La superficie del vástago debería ser examinada detenidamente para detectar evidencia de distorsión debido a torsión excesiva.

### Inspección visual en válvulas de mariposa

- Examinar las superficies de sello para detectar daño.
- Examinar las superficies de asentamiento para detectar daño físico, particularmente en el centro del disco.
- Verificar la alineación entre asentamiento y el disco.
- Examinar las superficies de los cojinetes para detectar desgaste.

### g) Válvulas de seguridad y de alivio (relevo)

Las válvulas de seguridad y de alivio (relevo) son válvulas que operan automáticamente para abrir a una presión preseleccionada y permitir que el fluido pase. En la mayoría de los diseños actuales un resorte mantiene el disco sobre el asiento hasta que la presión del sistema supera la fuerza del resorte y la válvula abre.

Cuando la presión del sistema alcanza el punto de ajuste el disco comienza a levantarse. La presión del sistema se incrementa paulatinamente hasta que la válvula se abre completamente.

La diferencia en presión, desde la presión ajustada y hasta la máxima presión alcanzada, antes que la válvula funcione para que la presión del sistema comience a reducir, es conocida como "acumulación" y es minimizada por el diseño de la válvula.

Para evitar el levantamiento y asentamiento frecuente de la válvula, a menudo se prefiere asentar a un valor preseleccionado, por debajo de la presión de ajuste. La diferencia entre la presión de ajuste y la de reasentamiento, medida como un porcentaje de la presión de ajuste, es conocida como "purga".

La purga en válvulas de seguridad de alta presión puede estar entre el 3 y el 5% de la presión de ajuste y muchos diseños de válvulas puede ser ajustada a valores predeterminados.

Las válvulas de seguridad y de alivio deben cumplir con los requerimientos de diseño. Deben permanecer asentadas y evitar fugas durante presiones normales del sistema. Debido al daño por erosión, resultante de un líquido, gas o vapor a alta presión escapando a través de una válvula parcialmente abierta, la válvula debe ser capaz de abrir rápida y completamente a la presión de ajuste y cerrar rápida y completamente a la presión diseñada de reasentamiento.

### o **Bombas**

Por definición, una bomba es un dispositivo mecánico que eleva, transfiere, presuriza o comprime fluidos presionándolos, forzándolos o impulsándolos a través de tubería o componentes.

### **Terminología de bombas**

Impulsor abierto-	Un impulsor abierto tiene álabes unidos al eje del impulsor soportados en un solo lado de los álabes.
Impulsor cerrado-	Un impulsor cerrado tiene ambos extremos de los álabes ocultos, para darle estabilidad.
Altura de succión-	Las bombas no crean succión. Para que una bomba neta positiva centrífuga opere, el líquido debe entrar con presión (NPSH) por el ojo del impulsor, usualmente a presión atmosférica. El NPSH es la cantidad de energía (medida en pies) necesaria para empujar el agua dentro del impulsor. La energía normalmente es provista por la presión atmosférica y la gravedad.

Hay dos valores de NPSH: el NPSH disponible, que depende de la localización y diseño del sistema de entrada de la bomba; y el NPSH requerido, que es determinado por las pruebas de banco del fabricante.

El NPSH requerido es la altura de succión mínima requerida en la entrada del impulsor de la bomba, para asegurar que no ocurra la cavitación en el impulsor de la bomba.

Es esencial que el NPSH disponible exceda el NPSH requerido con un margen razonable de seguridad, para prevenir la cavitación.

### Clasificación de bombas

El sistema primario, usado en la clasificación de bombas, se basa en el principio por el cual se añade la energía al fluido. Luego, se continúa por identificar los medios por los que este principio es implementado y, finalmente, por la geometría de la bomba empleada.

#### a) Bombas dinámicas

Una bomba dinámica agrega energía continuamente, incrementando la presión y velocidad en la descarga de la bomba.

#### b) Bombas de desplazamiento

Una bomba de desplazamiento agrega energía periódicamente, incrementando la presión y velocidad en la descarga de la bomba.

El tipo más común de bomba usada es la centrífuga, figura No. 107.

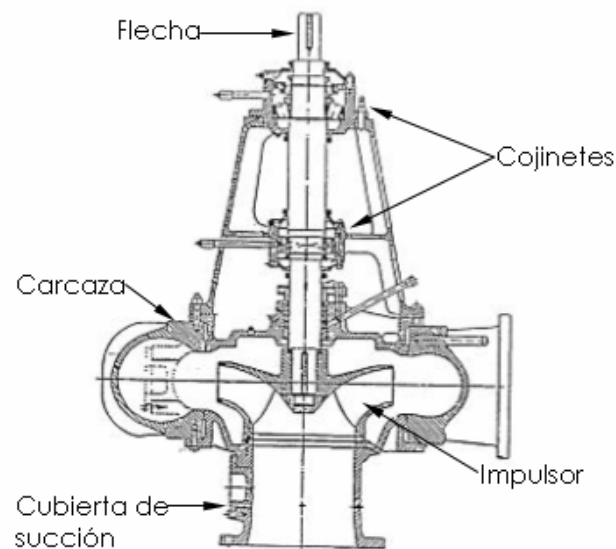


Figura No. 107: Bomba centrífuga

## Principio básico de operación de las bombas

Bomba centrífuga (dinámica)- Una bomba centrífuga consiste de un impulsor que gira dentro de una carcaza o cubierta. El fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor (ojo) y es impulsado a lo largo de los álabes o aspas del impulsor por fuerzas centrífugas. La velocidad o energía cinética del fluido se incrementa desde el ojo del impulsor hasta las puntas de los álabes. Esta energía de velocidad se convierte en energía de presión conforme el fluido deja la bomba.

Existe otra forma de clasificar bombas y es definiendo el número de etapas de la bomba:

Bomba de etapa simple- La carga total es proporcionada por la un impulsor.

Bomba de etapa múltiple- Tiene dos o más impulsores, en una sola carcaza, que actúan en serie para proporcionar la carga total.

Las etapas de una bomba se refieren al número de etapas hidráulicas o impulsores contenidos en una bomba. El movimiento del líquido resulta de la presión y velocidad impartida por el movimiento rotacional de uno o más impulsores. La velocidad o energía del agua depende de la velocidad de las puntas del impulsor y del ángulo de los álabes en la descarga del impulsor.

El impulsor es el corazón de la bomba. Los impulsores de las bombas centrífugas son divididos en tres tipos básicos:

- 1) De flujo radial- Para aplicaciones de carga alta.
- 2) De flujo combinado- Para aplicaciones de carga media.
- 3) De flujo axial- Para aplicaciones de carga baja.

Los impulsores de flujo radial y de flujo combinado pueden ser de succión simple o doble. Los impulsores de flujo axial pueden ser solamente de succión simple. La generación de presión y carga varía con el ángulo de descarga de los impulsores. El impulsor radial imparte la energía a través de la fuerza centrífuga, mientras que el impulsor axial impulsa el líquido por medio de los álabes. El impulsor de flujo combinado usa una combinación de flujo centrífugo y axial.

## Inspección visual de bombas

La inspección visual de bombas durante la fabricación, instalación y las pruebas previas a la operación, es la técnica principal, usada para asegurar que la bomba cumplirá con los requerimientos de diseño. Es importante que los resultados de tales inspecciones sean apropiadamente documentados para mantener un historial adecuado de la bomba.

## Verificaciones durante la fabricación

Durante la fabricación de bombas, los inspectores del fabricante realizan numerosas verificaciones en las partes que componen la bomba. Una de las verificaciones más importantes es el balanceo del impulsor. Después que un impulsor ha pasado todas las verificaciones dimensionales requeridas, entonces se balancea dinámicamente a velocidades que exceden la velocidad de operación.

Virtualmente cada ajuste en los elementos rotatorios se verifica para asegurar que el ensamble será apropiado. Cada bomba se verifica para detectar: claros en los anillos y en los cojinetes de la flecha, dimensiones generales, línea de centros, localización de la cara de acoplamiento, extensión de la flecha, y por cualquier defecto de manufactura. Una vez que las bombas son ensambladas y probadas, normalmente se desarrollan verificaciones finales. Cuando estas verificaciones de calidad son aceptables, la bomba es preparada para el embarque.

## **Inspección visual de bombas**

### **Martillo de agua (golpe de ariete)**

Causado por un cambio repentino o abrupto en el flujo de líquido, que da como resultado la generación de fuerzas que son muy destructivas, las cuales pueden provocar la falla de:

- Válvulas
- Tubería
- La propia bomba

Puede convertirse en un problema mayor cuando se está llenando o vaciando un sistema de gran volumen, por ejemplo, sistemas de circulación de agua.

### **Vibración**

Puede causar fallas catastróficas cuando los ciclos de vibración exceden el límite de fatiga del material del componente. Las causas generales son:

- El balanceo de elementos rotatorios
- Desgaste o pérdida de partes
- Desalineamiento

### **Ruido de la bomba**

No es destructivo por sí mismo, pero puede ser indicativo de:

- Operación fuera de diseño
- Entrada de flujo con turbulencia
- Cavitación

### **Temperatura**

Puede ser indicación de problemas potenciales, especialmente en los cojinetes. La ausencia o disminución de lubricante en los cojinetes causan un incremento en la temperatura. Cuando existe temperatura excesiva en los cojinetes la bomba debe apagarse inmediatamente.

## **Cavitación**

Es el proceso que ocurre en un líquido cuando burbujas de gas o gas-vapor se colapsan o explotan. La cavitación incluye la formación, crecimiento y colapso de la burbuja. La energía liberada en este proceso es suficiente para erosionar la mayoría de los metales.

Muchos materiales han sido probados para determinar su resistencia a la cavitación. Los efectos de la cavitación son:

- Interrupción del flujo
- Pérdida de material

La cavitación se manifiesta por:

- Ruido y vibración
- Caída en la capacidad de carga y curvas de eficiencia
- Picaduras en los álabes del impulsor
- Fallas de los materiales por fatiga

La principal causa de cavitación es por condiciones inapropiadas de succión. La velocidad específica de succión requerida (S) debe ser igual o exceder la velocidad específica de succión disponible (SA) para prevenir la cavitación.

Los factores que afectan los requerimientos de succión son:

- Diámetro del ojo del impulsor
- Área de succión del impulsor
- Forma y número de los álabes
- Área entre los álabes
- Forma del paso de succión
- Velocidad específica de succión del impulsor
- Pérdidas por fricción en el tubo de entrada
- Velocidad de flujo uniforme
- Diseño de la entrada

## **Inspección de una bomba desensamblada**

### **1) Impulsores**

Examinar para detectar erosión y cavitación

Las entradas de los álabes deben ser suaves y redondeadas

Cada impulsor debe ser inspeccionado al 100% con líquidos penetrantes

Cualquier grieta debe ser reparada o en su lugar el impulsor debe ser reemplazado

### **2) Difusores**

Examinar de la misma forma que los impulsores



### 3) Camisas y anillos

Examinar dimensionalmente para verificar tolerancias  
Examinar visualmente

### 4) Flechas

Examinar para verificar la rectitud  
Examinar para detectar erosión en las partes expuestas a líquidos  
Examinar las superficies de contacto con los cojinetes para verificar el acabado  
Verificar redondez, rectitud, planicidad y paralelismo

### 5) Zapatas o cojinetes con babbit

Las superficies deberían ser inspeccionadas para verificar la textura y para detectar desgaste  
El babbit es un material suave y que fácilmente puede ser dañado por partículas finas en el líquido  
El babbit debería ser inspeccionado con líquidos penetrantes, para detectar separación o laminaciones

### 6) Carcaza o envolvente

Examinar para detectar erosión o desgaste  
Depresiones, picaduras y crestas pueden reducir la eficiencia y acelerar el desgaste  
Examinar las juntas para detectar erosión y para verificar que las superficies de bridas se encuentren efectivamente selladas

### 7) Cojinetes

Las camisas de los cojinetes deberían ser inspeccionadas para detectar picaduras y desgaste, para verificar el acabado y medir el tamaño  
Deberían verificarse los claros de diseño  
Los cojinetes de bolas y de rodillos deberían ser verificados superficialmente  
Las tolerancias de diseño deben ser verificadas con calibradores adecuados

#### ○ **Componentes de soporte**

El diseño de componentes de soporte para tubería y recipientes a presión es crítico, porque deben ajustarse a las diferentes condiciones experimentadas durante el arranque, operaciones normales, paros y condiciones temporales. La inspección visual consiste en asegurar que los componentes de soporte son funcionales y que han sido construidos correctamente.

El término “componentes de soporte” incluye a todos los dispositivos metálicos que transmiten cargas desde un componente que retiene presión (como tubería y recipientes) a los elementos estructurales que soportan cargas. El mayor número de componentes de soporte es aplicado en sistemas de tubería; sin embargo, aplican en todo tipo de componentes.

El componente de soporte es usado para mantener componentes rígidamente en un lugar, para permitir que los componentes solo se muevan de dentro de límites estrechos, o para amortiguar y disminuir el movimiento de los componentes.

El diseño de un componente de soporte debería considerar el peso del componente y la posición en que será mantenido el componente, condición estática. Además, el diseño de un componente de soporte debe considerar efectos dinámicos (movimiento) de operaciones normales temporales así como condiciones anormales de carga. Condiciones normales temporales involucran martillos de agua, que pueden ocurrir en una tubería cuando una válvula es cerrada repentinamente. Todos los efectos que no son esperados deberían ser considerados como condiciones anormales de carga.

Todos los componentes de soporte hacen contacto con miembros estructurales (muros de concreto o estructuras de acero). Todas las cargas normales y no amortiguadas son transmitidas a través del componente de soporte al miembro estructural.

El componente de soporte puede ser unido al componente de forma integral, no integral o por la combinación de ambas.

- a) Las conexiones integrales pueden ser soldadas, fundidas o forjadas junto con el componente, estas pueden ser orejas, zapatas, anillos y camisas o chaquetas.
- b) Las conexiones no integrales son las que conectan mecánicamente al componente de soporte al componente, estas pueden ser pernos, pasadores, abrazaderas o directamente a los cojinetes del componente.

### **Grupos de componentes de soporte**

Cada grupo de componentes de soporte tiene características propias y accesorios que son usualmente incluidos en su diseño. Cada componente de soporte tiene un miembro primario que es diseñado para transmitir la carga del componente, y puede tener miembros secundarios para abrazar al elemento primario.

#### **a) Colgadores**

Típicamente, los colgadores consisten de una varilla conectada al componente con una oreja soldada o abrazadera atornillada, figura No. 108. Los colgadores son usualmente de diseño simple con pocas partes y conexiones. El colgador puede incluir accesorios de esfuerzo constante o resortes variables, que deben ser ajustados a un valor determinado de carga (usualmente en libras). Los colgadores también pueden ser hechos de cables o perfiles estructurales y son usualmente de un diseño estándar de componente de soporte.

Características principales de los colgadores:

- Son instalados verticalmente
- Transportan la carga desde arriba
- Soportan los miembros a tensión



Figura No. 108: Colgador

### b) Soportes de asiento

Estos soportes típicamente consisten de abrazaderas de tipo asiento o zapatas en forma de "T", instalados por debajo del componente para soportar la carga. La mayoría de los recipientes a presión, tales como intercambiadores de calor y tanques de almacenamiento, incluyen estos soportes, como los faldones o camisas de recipientes, que transmiten el peso del recipiente al piso y apoyos del recipiente en el lugar. Los soportes pueden incluir accesorios de esfuerzo constante o resortes variables.

Características principales de los soportes de asiento:

- Son instalados verticalmente
- Transportan la carga desde bajo
- Soportan los miembros a compresión

### c) Soportes de restricción

Los soportes de restricción, figura No. 109, pueden ser instalados en cualquier ubicación alrededor del componente.

Típicamente un soporte de restricción conecta rígidamente el componente a la estructura del edificio. Un soporte de restricción puede ser un asiento, un armazón con claros muy pequeños, o un juego de orejas soldadas a un componente.

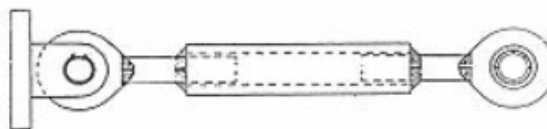


Figura No. 109: Soportes de restricción

Características principales de los soportes de restricción:

- Son instalados para permitir un movimiento limitado o para no permitir ningún movimiento en una o más direcciones
- Transmitir cargas dinámicas sísmicas y temporales
- Incluye anclas de tubería y collares de recipientes a presión

### **Inspección de componentes de soporte**

Mecanismos generales de falla

#### 1. Practicas inadecuadas de construcción

Materiales y mano de obra por debajo del estándar

Modos de falla

- Discontinuidades en los materiales base
- Cortes rugosos o cuerdas deformadas en varillas, tornillos, pernos o tuercas
- Pernos y tuercas no apretados o con torque apropiado
- Partes diferentes o de tamaño equivocada
- Ausencia de arandelas, pasadores o contratuercas
- Soldaduras demasiado o excesivamente rugosas

#### 2. Daño físico

Acciones humanas o mecánicas que degraden la integridad del soporte

Modos de falla

- Doblez, giro o abrazaderas, varillas o vigas deformadas
- Partes quemadas o decoloradas (resultado de calor excesivo, usualmente debido a soldadura)
- Pernos, varillas, pasadores y soldadura agrietados o cortados
- Concreto dañado

#### 3. Sobrecarga

Ocurre cuando es excedida la carga de diseño

Modos de falla

- Soldaduras agrietadas
- Pasadores rotos
- Varillas fracturadas
- Roscas estropeadas
- Placas de asiento deformadas
- Partes dobladas o torcidas
- Pernos o pasadores alargados

#### 4. Corrosión

Desgaste general o localizado del material

Los daños típicos de corrosión incluyen

- Capas ligeras o pesadas de óxidos sobre superficies expuestas
- Picaduras superficiales o profundas

- Acumulación de productos de corrosión o pérdida de material en aberturas y hendiduras
- Pérdida de remaches
- Rodillos o cojinetes atascados
- Pérdida de cuerdas en varillas, pernos y tuercas
- Áreas de material erosionado

## 5. Fatiga

Los soportes expuestos a cargas cíclicas pueden resultar en la formación de grietas por fatiga

Pueden aparecer grietas típicas como:

- Líneas delgadas a través o adyacentes a las soldaduras

- Muecas o aberturas en la raíz de las roscas

- Muecas o aberturas en varillas, barras o tubería adyacente a abrazaderas



## CAPITULO SIETE: DOCUMENTACION DE LA INSPECCION VISUAL

### i. Dibujos

Los dibujos o croquis fueron el primer método de documentación para la inspección visual y aún siguen siendo utilizados. Únicamente se requiere una pluma o lápiz y una hoja de papel, pero la falta de equipo de registro hace que la comunicación de los resultados dependa completamente de la habilidad del inspector para incluir los detalles en el dibujo.

Si se prefiere el dibujo como método de documentación, establecer algún plan o procedimiento para su elaboración ayudará a obtener un nivel uniforme en la información. Los dibujos elaborados previamente, del objeto que será inspeccionado, son invaluable. Dependiendo de la complejidad del objeto inspeccionado y de los detalles requeridos, podrían ser proyecciones en dos dimensiones (ortográfico) o en tres dimensiones (pictorial). Un encabezado puede identificar el objeto por número de serie, número de parte, localización, etc. Pueden incluirse instrucciones que describan los requisitos de seguimiento necesarios. Puede ser apropiado una escala y las posiciones de las características más importantes. Para objetos grandes, puede ser parte del dibujo una matriz de coordenadas.

Cuando se reporta cualquier característica sobre un dibujo, ya sea discontinuidades o defectos, la localización de la anomalía debe ser claramente descrita para que el área de interés pueda ser localizada. Usualmente, se localiza una característica de la pieza que se pueda identificar fácilmente y se registra la distancia desde esa característica hasta la anomalía, también, deberían ser incluidas las dimensiones mayores y menores o una descripción de la indicación. Todos los dibujos se incluyen como parte de un reporte de inspección y deberían estar firmados por el inspector e incluir la fecha.

### ii. Fotografía

La fotografía es una forma común para documentar los resultados de las inspecciones. En todos los tipos de fotografía comúnmente se incluye una cinta métrica, regla o algún accesorio para dimensionar, para contar con una referencia dimensional en la imagen fotográfica.

Las cámaras más comunes son sistemas SLR (single lens reflex) de 35 mm, sistemas de película instantánea, cámaras digitales y cámaras de video.

#### 1. Sistemas SLR de 35 mm

La cámara moderna SLR de 35 mm es un sistema fotográfico sofisticado y flexible que es relativamente fácil de utilizar y capaz de proporcionar resultados de alta calidad, una desventaja es el retraso para observar la imagen debido al tiempo del procesado. Una ventaja incluye el alto grado de automatización disponible, la gran variedad de lentes, el equipo de iluminación y la variedad disponible de tipos de película.

Las cámaras miden la exposición directamente fuera del plano de la imagen proporcionando exposiciones precisas y simples. Además, coordinan automáticamente exposiciones con flash.

En algunas aplicaciones, se requiere que la fotografía se efectúe con grandes cantidades de amplificación, porque es utilizada en la cercanía del objeto. En una cámara reduciendo la apertura de un lente se reduce la cantidad de luz transmitida pero se incrementa la profundidad de campo. La profundidad de campo puede ser definida como la definición total del foco en una fotografía. Cuando se intenta fotografiar un objeto, únicamente un solo plano a través del objeto se encuentra enfocado, el cual corresponde al plano principal de enfoque. Cuando se trabaja con altas amplificaciones, este efecto es muy significativo. En una cámara de 35 mm, los lentes con diafragma son utilizados para tener un control sobre el ancho del plano principal del foco o profundidad de campo.

Las fuentes de luz para fotografía merecen consideraciones especiales. Obtener la exposición correcta en unidades con flash direccional común es sencillo, pero la dirección e intensidad de luz puede necesitar una planeación cuidadosa para iluminar con alta intensidad el área de interés, los difusores de luz y reflectores pueden ayudar a reducir el resplandor indeseable y las reflexiones. Para distancias muy cercanas a la cámara se recomienda usar un flash de anillo especial, que se monta en el extremo del lente de la cámara.

El tamaño del negativo afecta directamente la calidad de cualquier amplificación fotográfica. Entre mayor sea el tamaño del negativo, se tendrá mejor calidad en cualquier amplificación.

Seleccionar la velocidad de la película es otra decisión importante. Varios factores influyen en esta decisión, entre los cuales se puede mencionar la cantidad de luz disponible sobre el objeto que será fotografiado y cuantas impresiones serán obtenidas del negativo de la película. La películas de alta velocidad requieren menos luz pero producen impresiones granuladas, esta condición se incrementa con el incremento en el tamaño de la impresión.

La películas lentas son utilizadas cuando se requiere obtener detalles muy finos. La condición para utilizar una película lenta es que se requiere más luz sobre el objeto que será fotografiado.

Existen dos sistemas para identificar la velocidad de la película, en América es utilizado el número ASA, y en Europa en número DIN. La siguiente carta muestra varios números de velocidad ASA y DIN disponibles para película blanco y negro y de color:

	Color		Blanco y Negro		
	ASA	DIN	ASA	DIN	
Lenta	25	15	Lenta	32	16
	32	16		64	19
Media	64	19	80	20	
			100	21	
			125	22	
			160	23	
Rápida	200	24	Rápida	200	24
				400	27



La mayoría de boroscopios, microscopios metalúrgicos y otros equipos de inspección incluyen adaptadores para que las cámaras de 35 mm puedan ser ajustadas, en estas circunstancias una cámara automática simplifica los cálculos de exposición.

## **2. Sistemas de película instantánea**

Los sistemas de cámara y película instantánea, similares a los fabricados por Polaroid, producen imágenes positivas en un periodo relativamente corto de tiempo. Los agentes para el revelado y el fijado se encuentran como parte del empaque de la película y producen una imagen con calidad razonable para observarse en cerca de un minuto. Las películas instantáneas se encuentran disponibles en blanco y negro y vienen en variedad de velocidades.

## **3. Cámaras View (paisaje)**

Las cámaras View son más grandes y más frágiles que las cámaras de 35 mm. La variedad de lentes y otros accesorios disponibles son limitados. Debido a que una cámara View es enfocada ajustando la longitud de los fuelles que se encuentran entre el plano del lente y de la película, son capaces de enfocar extremadamente cerca.

Normalmente el plano del lente y de la película puede ser alterado, permitiendo enfocar el plano de la cámara para ser ajustado y proporcionar una profundidad de campo efectiva.

## **4. Cámaras digitales**

Las cámaras digitales, similares en tamaño y características a las cámaras de 35 mm, están disponibles desde 1995. Utilizan un medio digital de registro tal como un disco de computadora en lugar de película. Las cámaras actualmente disponibles pierden resolución de las imágenes obtenidas, pero se mejora la calidad. Las imágenes digitales pueden ser fácilmente importadas por software procesadores de palabras con el fin de producir documentación claramente atractiva. Además, la imagen digital permite su análisis.

### **iii. Fotogrametría**

La fotogrametría es una tecnología utilizada para obtener mediciones cuantitativas de objetos físicos registrando mediciones e interpretando imágenes fotográficas. La ciencia de la fotogrametría ha sido desarrollada como un medio exacto y rápido para hacer mapas topográficos. El rápido desarrollo de la fotogrametría en cartografía se debe al desarrollo de la tecnología del posicionamiento global por satélite (GPS) y a que permite la evaluación rápida y exacta de la posición de la vista. Cuando la fotogrametría es usada para la inspección, los principios involucrados son los mismos pero la escala es grandemente reducida. En aplicaciones industriales, la fotogrametría es utilizada para determinar topografías a escalas macroscópicas o microscópicas.

Normalmente, se toman dos fotografías de posiciones de la vista ligeramente diferentes. Es importante que sea conocida la posición exacta de la vista con relación a la superficie inspeccionada y la relación entre cada una de las vistas. Las dos fotografías son observadas a través de un estereoscopio como un par estéreo que proporciona una imagen de tres dimensiones. La diferencia en paralaje puede ser medida y el contorno o inclinación de la superficie se determina utilizando una barra de paralaje y un estereoscopio.

Otra técnica de fotogrametría utiliza una sola posición de la vista, pero cambiando la posición de la iluminación entre vistas. El cambio en las sombras se mide y convierte en información sobre la topografía. La posición de la vista y las posiciones de la iluminación deben conocerse.

#### **iv. Replicación**

La replicación es un método para el copiado de la topografía de una superficie por medio de la fundición o impresión de un material sobre la superficie. Es una técnica utilizada comúnmente para duplicar superficies que son inaccesibles en metrología y Pruebas no Destructivas.

La replicación de una superficie puede involucrar métodos directos o indirectos. En el método directo o de etapa simple, se obtiene una réplica de la superficie y posteriormente se examina en el microscopio.

En el método indirecto, se toma una replica final o segunda réplica de una obtenida anteriormente.

Las réplicas en etapa simple son comúnmente hechas utilizando un acetato para replicación como medio para evaluar la condición superficial, para realizar un análisis de fractura superficial y el análisis de la micro estructura.

Puede ser usada una cinta de acetato junto con acetona para humedecerla. Se aplica sobre la superficie y posteriormente el acetato se endurece al evaporarse el solvente. Después, se remueve cuidadosamente de la superficie, y el acetato contiene una imagen negativa, o réplica, que puede ser examinada directamente con un microscopio óptico o, después de cierta preparación, en un microscopio de barrido de electrones. La cinta con doble cara es utilizada para adherir la réplica a una base de vidrio para la réplica de la superficie sea plana y sin distorsión.

Para mejorar el contraste de la cinta de acetato, se puede realizar un sombreado o exposición a vapor. Se deposita metal sobre la cinta a un ángulo agudo. La exposición al metal varía el espesor y produce una sombra que agrega contraste. La replicación con cinta de acetato es utilizada con o sin sombreado para el análisis de fatiga y para la evaluación de la micro estructura y de los micro esfuerzos.

Las replicas con silicón son utilizadas en metrología para realizar el análisis cuantitativo de picaduras pequeñas y otras condiciones negativas de la superficie.

Son comúnmente utilizadas en combinación con comparadores ópticos para determinar los perfiles de las superficies donde se tiene acceso a dos lados y no es posible el acceso perpendicular a la superficie.

Aunque la resolución de los materiales de silicón es menor que las técnicas con cinta de acetato, es razonablemente exacta hasta ampliaciones de 50X.

Existen algunas ventajas significativas de la técnica de replicación sobre el uso de microscopios en el campo:

1. Se obtiene un registro permanente
2. Puede ser utilizada una mejor resolución y mayores ampliaciones
3. Se minimiza la contaminación de la superficie pulida
4. Se minimiza el tiempo de permanencia en un medio ambiente incómodo o de alto riesgo
5. Puede ser utilizado un microscopio de barrido de electrones.



## CAPITULO OCHO: DOCUMENTOS

### i. Planeación de la inspección

Antes de iniciar con una inspección, deben determinarse los requisitos de la misma. Un plan sistemático de inspección ahorra tiempo y asegura que la inspección será completa y adecuada para el material que será evaluado. Como parte de un proceso de planeación, las siguientes preguntas deberían ser consideradas:

1. ¿Qué estándares, Códigos o especificaciones aplican? Esto incluye los requisitos de materiales, procedimientos de proceso y de inspección, y los requisitos de calificación del personal, así como también los requisitos de calibración y del sistema de calidad.
2. ¿Qué requisitos existen para los registros, documentando que todos los requisitos de estándares, Códigos y especificaciones son cumplidos? ¿Los registros deberían ser generados en un formato específico o se deben imprimir previamente las formas existentes? ¿La documentación gráfica (dibujos, croquis, fotografía o cinta de video) es recomendada o requerida?
3. ¿Cómo se mantiene el seguimiento o rastreo? La mayoría de artículos que requieren inspección incluyen hojas de trabajo para identificarlos, su fabricación y su vida útil. Debería ser establecido el procedimiento para verificar la identificación de los registros y físicamente del artículo.
4. ¿Qué conocimientos y habilidades se requieren del inspector? ¿El personal que realiza la inspección tiene el conocimiento adecuado de los materiales y procesos de manufactura, incluyendo las discontinuidades producidas comúnmente? ¿El personal entiende completamente la parte que es aplicable de los estándares, Códigos y especificaciones? ¿El personal sabe como utilizar las herramientas requeridas? ¿El personal entiende los requisitos para mantener los registros?
5. ¿Se conocen los esfuerzos físicos a los cuales estará sujeto el artículo durante su vida de servicio? Esto es información muy valiosa para el inspector, pero en ocasiones no se encuentra disponible.
6. ¿Qué herramientas o técnicas especiales se requieren para realizar las inspecciones? ¿Qué alternativas son aceptables si el equipo preferido o recomendado no está disponible?
7. ¿La iluminación es apropiada para las inspecciones que se pretenden realizar? ¿Cuanto control se tiene sobre la iluminación? ¿La iluminación requerida es portátil? ¿Se requieren técnicas especializadas de iluminación?
8. ¿Es adecuado el acceso a las áreas que serán inspeccionadas? ¿Deben ser usados andamios o escaleras?
9. Asegurarse que el equipo de protección personal se encuentra disponible y es utilizado para realizar las inspecciones.

Esta es una lista básica para planear la inspección, la cual podría ser revisada y modificada dependiendo las circunstancias específicas.

## ii. Secuencia de la inspección visual

Una secuencia típica de observación (inspección / examen / prueba) y evaluación podría ser como sigue:

1. Se observa una indicación
2. La indicación se interpreta para determinar si es relevante (indicativa de una discontinuidad o anomalía)
3. La indicación relevante se compara con un criterio apropiado en un estándar, Código, procedimiento, especificación o requisitos del cliente y se determina si excede ese límite.
4. Si la discontinuidad excede los límites es ahora juzgada como un defecto, el cual es perjudicial al uso pretendido de la parte, componente o sistema, por lo que debe ser rechazado.

Por cierto, las anomalías están consideradas en el Código ASME BPV, Sección V, Artículo 9, Inspección visual. El diccionario Webster ofrece tres definiciones de anomalía. Dos de ellas parecen ser apropiadas para ser utilizadas.

**Anomalía:** Desviación de la regla común.

**Irregularidad:** Algo diferente, anormal, peculiar o que no puede ser clasificado fácilmente.

Específicamente, la Sección V, Artículo 9 requiere “un mínimo de 50 fc (540 lx) para la detección o estudio de pequeñas anomalías”.

## iii. Inspección visual de soldaduras

Cualquier programa de control de calidad que consista esencialmente de la inspección visual, debería incluir una secuencia continua de inspecciones, realizadas durante todas las fases de fabricación.

Descubrir y reparar cualquier defecto a tiempo resulta en la reducción sustancial de costos.

Se ha demostrado que un programa de inspección visual que se realice antes, durante y después de la aplicación de la soldadura, resulta en el descubrimiento de la mayoría de defectos que serían detectados más adelante, utilizando métodos de prueba más complejos y costosos.

La inspección visual inicia con la inspección del material antes de la fabricación, con el propósito de detectar y eliminar condiciones que tiendan a provocar discontinuidades en la soldadura.

Ya que la inspección visual proporciona mejores resultados cuando se aplica durante todas las etapas de fabricación, es adecuado elaborar una lista de algunas características que puedan ser evaluadas en varios puntos de la secuencia.

### **Inspección visual antes de soldar**

- Revisar la documentación aplicable, como por ejemplo dibujos, especificaciones de material, especificaciones del producto, etc.
- Verificar la calificación del procedimiento de soldadura y del personal.
- Establecer puntos de chequeo.
- Establecer un plan para el registro de resultados.
- Desarrollar un sistema para la identificación de rechazos.
- Verificar las condiciones del equipo de soldadura.
- Verificar la calidad y condición de los materiales del metal base y de aporte que serán utilizados.
- Verificar las preparaciones de la junta.
- Verificar la alineación y separación (abertura) de raíz de la junta.
- Verificar la limpieza de la junta.
- Verificar el precalentamiento, cuando sea requerido.

### **Inspección visual durante la aplicación de la soldadura**

- Verificar que las variables cumplan con el procedimiento, por ejemplo, el voltaje, el amperaje.
- Verificar la calidad de los pasos individuales de la soldadura.
- Verificar la temperatura entre pasos de soldadura.
- Verificar la limpieza entre pasos de soldadura.
- Verificar la colocación y secuencia de pasos individuales.
- Verificar la calidad de los pasos intermedios tratando de detectar discontinuidades.

### **Inspección visual después de la aplicación de la soldadura**

- Verificar la apariencia final de la soldadura.
- Verificar el tamaño de la soldadura.
- Verificar la longitud de la soldadura.
- Verificar la exactitud en las dimensiones de la soldadura.
- Realizar cualquier Prueba no Destructiva adicional, cuando sea requerida.
- Monitoreo del tratamiento térmico posterior, cuando sea requerido.

#### **iv. Planes de muestreo para la inspección visual**

En algunos casos, puede requerirse el 100 por ciento de inspección de un producto. De otra forma, son especificados procedimientos de muestreo. El muestreo es la selección de una porción representativa de una corrida de producción para propósitos de inspección. Las conclusiones pueden obtenerse con base en la calidad total de una corrida completa de producción basada en (1) el resultado de la prueba de muestreo y (2) las bases de estadísticas para el procedimiento de muestreo. Las especificaciones o procedimientos de inspección usualmente detallan los métodos de muestreo para el inspector visual.

#### **Métodos para procedimientos de muestreo**

Algunos de los términos encontrados en los procedimientos de la inspección visual para el muestreo son “completo”, “parcial”, “específico” y “aleatorio”.  
Inspección completa

La inspección completa es la inspección del lote completo de producción en una manera prescrita. Algunas veces, la inspección completa designa la inspección de solamente las uniones críticas en cada soldadura. El muestreo completo se usa donde se requiere la más alta calidad. Es costosa y consume tiempo comparado con el muestreo parcial.

#### **Muestreo parcial**

El muestreo parcial es la inspección de un cierto número menor que el total de una corrida de producción. El método de selección para la inspección y el tipo de inspección son prescritos. El criterio de rechazo y rutina de disposición para cualquier soldadura de nivel inferior debe ser también especificado en el procedimiento.

#### **Muestreo parcial especificado**

Para el muestreo parcial especificado, una frecuencia o secuencia particular de selección de la muestra es prescrita.



Un ejemplo de muestreo parcial especificado es la selección de cada quinta unidad, comenzando con la quinta unidad. Porque el productor conoce cuales unidades serán probadas, podría poner más cuidado a la producción de aquellas unidades inspeccionadas y el nivel de calidad total de la corrida de producción puede ser menor que la indicada por las unidades inspeccionadas. Esto invalidará el muestreo.

### **Muestreo parcial aleatorio**

El muestreo parcial aleatorio ocurre cuando la selección del objeto de prueba es totalmente aleatoria. Por ejemplo, una de cada cinco unidades de una corrida de producción es inspeccionada y el inspector hace la selección de cada una de las unidades candidatas de los subgrupos de cinco en una manera aleatoria. Entonces cada una de las cinco unidades tiene igual posibilidad de ser escogida y ocurre el muestreo parcial aleatorio.

Porque el productor no conoce cuales unidades serán probadas, el mismo cuidado puede darse a la producción de todas las unidades y resulta una calidad de producto más uniforme.

### **Planes de muestreo para la prueba por atributos.**

La inspección visual por atributos (o características) involucra la clasificación del objeto inspeccionado como defectiva o no defectiva. El objeto inspeccionado también puede clasificarse por el número de discontinuidades por cien unidades o un grupo de requisitos dados.

El resultado final de las inspecciones de uniones soldadas es la identificación de discontinuidades— Ciertas discontinuidades pueden o no ser aceptables dentro del Código o requisitos de especificación. Por lo tanto, las inspecciones visuales típicas de soldaduras pueden clasificarse como pruebas por atributos.

El documento MIL–STD–105D contiene procedimientos y tablas con planes de muestreo para la inspección por atributos. Los planes de muestreo son relativamente fácil de usar e interpretar.

### **Conclusiones**

El muestreo se usa cuando la inspección al 100 por ciento no es económica o práctica. Cuando se usan los procedimientos de muestreo, siempre hay riesgos para el productor y el consumidor.

Cuando el plan de muestreo está dado en el procedimiento o especificación, el inspector visual solo necesita seguir el procedimiento. Los planes de muestreo pueden elegirse para un riesgos específico del estándar MIL–STD–105D.

La inspección completa se usa cuando se requiere la calidad más alta para servicios críticos. Uno o más de los otros métodos de Pruebas no Destructivas, junto con la inspección visual, puede especificarse para los puntos críticos.

## v. Códigos, normas y especificaciones

El técnico calificado como Nivel II o III en Pruebas no Destructivas debe estar familiarizado con el manejo e interpretación de documentos aplicables al método en el que está calificado y a los productos que debe inspeccionar.

La inspección de un componente que esté regulado o que sea crítico dentro de la industria, puede estar cubierta por múltiples documentos, tales como códigos, normas y especificaciones.

Existe un gran número de organizaciones responsables de la edición y revisión de estos documentos, por mencionar algunos: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), API (Instituto Americano del Petróleo), etc.

Cada inspección puede estar gobernada por uno o más procedimientos que han sido elaborados y estructurados para cumplir con reglas o criterios de esos documentos aplicables.

Para cumplir con los objetivos y requisitos de estos documentos, el personal debe ser capaz de entender el punto de vista que dirige lo establecido en ellos; además, debe ser capaz de elaborar procedimientos escritos e interpretar los resultados de la inspección basándose en los requisitos tomados de los documentos aplicables al producto o material inspeccionado, y por último, debe asegurar que quien realiza actividades de inspección, documentada en procedimientos, cumple con la variedad de requisitos y documentos aplicables.

La forma en la cual se encuentran establecidos los requisitos varía de documento a documento. A continuación se describe en forma breve estos documentos.

### Código

Es un documento que define requisitos técnicos de prueba, materiales, procesos de fabricación, inspección y servicio con los que debe cumplir una parte, componente o equipo.

Ejemplos:

- Código ANSI / ASME, para Recipientes a Presión y Calderas
- Código ANSI / AWS D 1.1, para Estructuras Soldadas de Acero
- Código ANSI / API 570, para Inspección de Tubería

Los códigos se aplican o siguen de forma obligatoria, solo cuando se establece en un contrato de compra-venta, o en la fabricación de una parte, componente o equipo.

Los códigos americanos que llevan las siglas ANSI son documentos normativos nacionales en los Estados Unidos. Es importante siempre recordar que los Códigos no se combinan o sustituyen entre sí.

### **Ejemplo de la estructura de un Código de uso común en la industria:**

El Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas está subdividido en dos secciones: para clases específicas de componentes (recipientes a presión, calderas y tubería); y tecnología de soporte (soldadura, pruebas no destructivas y materiales). Como parte del Código, ASME ha establecido reglas y requisitos de Pruebas no Destructivas en la Sección V, que tiene aplicación similar a los documentos de ASTM, y en ocasiones utiliza algunos como base técnica para las actividades de inspección.

Debido a que el Código contempla varios niveles de componentes críticos, los criterios de aceptación, requisitos de personal y la definición de lo que debe ser inspeccionado se reserva para algunas otras secciones de referencia, específicas del producto, por ejemplo: la Sección III, es para construcciones nucleares nuevas; la Sección VIII, es para la construcción de recipientes a presión nuevos; y la Sección XI, es para inspección en servicio de instalaciones nucleares; todas definen el criterio de aceptación y la certificación del personal, completamente por separado de la Sección V.

### **Norma (Estándar)**

Es un documento que establece y define reglas para:

1. Adquirir, comprar, dimensionar o juzgar un servicio, material, parte, componente o producto.
2. Establecer definiciones, símbolos o clasificaciones.

Ejemplos:

- Normas ASTM,
- Normas Internacionales ISO,
- Normas Mexicanas.

Las normas ASTM relacionadas con las pruebas no destructivas hacen énfasis de la forma en la cual deben realizarse las actividades de inspección, pero dejan el criterio de aceptación para que sea decidido entre el comprador y el vendedor del servicio.

### **Especificación**

Es un documento que describe, define y establece:

1. De forma detallada: un servicio, material o producto.
2. Propiedades físicas o químicas de un material.
3. La forma de realizar pruebas, inspecciones, etc., y las tolerancias aplicables para la aceptación o rechazo.
4. Como se debe realizar la compra de un servicio o material.

Contienen condiciones que deben ser establecidas por el comprador, o que pueden ser aplicadas por el vendedor a su consideración.

Ejemplos:

- Especificaciones API,
- Especificaciones particulares de los clientes.

En el uso de las especificaciones y normas se debe tener presente que son obligatorias solo por mutuo acuerdo entre comprador y vendedor.

## vi. Procedimientos de inspección

Un Procedimiento de Inspección es un documento que define los parámetros técnicos, requisitos de equipos y accesorios, así como los criterios de aceptación y rechazo que son aplicables a materiales, partes, componentes o equipos, todo esto de acuerdo con lo establecido en Códigos, normas y especificaciones.

Aún el técnico más experimentado no podrá determinar el estado de un producto sin la información aplicable al bien o servicio, de cómo se requiere que sea un producto en función de su calidad y, por lo tanto, de cómo el producto va a ser inspeccionado y evaluado.

Los procedimientos de inspección aportan una serie de beneficios para los usuarios:

- Apego a documentos aplicables (Códigos, normas o especificaciones)
- Nivel de calidad constante del producto inspeccionado
- Resultados repetitivos
- Técnica de inspección homogénea
- Criterios de aceptación y rechazo homogéneos
- Evita discrepancias entre fabricante y comprador en la inspección de recepción de material, cuando el comprador está enterado y ha autorizado el procedimiento para su aplicación

De acuerdo con los documentos aplicables, los procedimientos de inspección deben ser elaborados, preferentemente, por un técnico nivel II o III, calificado y certificado en el método de inspección aplicable. Además, deben ser revisados y aprobados por un técnico nivel III, calificado y certificado en el método de inspección aplicable.

Antes de elaborar un procedimiento de inspección es necesario que se consideren algunos aspectos preliminares:

- Definir los documentos aplicables por mutuo acuerdo, tales como: especificaciones del cliente, dibujos, pedido, etc.
- Definir el alcance y requisitos específicos del cliente
- Verificar: notas técnicas, especificaciones y/o pedido
- Determinar los equipos y accesorios necesarios
- Definir los niveles de calidad requeridos.
- Considerar programas de fabricación o mantenimiento para determinar los puntos críticos de la inspección: áreas de interés, etapa de la inspección, preparación de las superficies, etc.
- Selección y preparación de las muestras para la calificación del procedimiento.

## **Reporte de resultados**

Los procedimientos de inspección deben incluir o hacer referencia a un formato de Reporte de Resultados.

Cuando se reporta y documentan los resultados de la inspección, se debe incluir la información completa y exacta de la inspección realizada con el objeto de hacerla reproducible. Lo anterior se debe a que puede existir la revisión por parte del cliente y posiblemente por alguna agencia externa (auditoria, monitoreo, inspección, etc.).

Las revisiones pueden ocurrir mucho tiempo después de realizada la inspección y aceptación por parte del usuario. La falta de información y documentación puede resultar en retrasos costosos al tratar de resolver la aparente o sospechosa presencia de discontinuidades.

La documentación necesaria para minimizar confusiones durante la interpretación debe incluir, pero no está limitada, los requisitos establecidos por el Código, norma o especificación que sea aplicable.

## **vii. Criterios de aceptación y rechazo**

Los criterios de aceptación se incluyen en algunos documentos para proporcionar rangos, clases, grados y niveles de calidad aceptables.

Los documentos que contienen criterios de aceptación y rechazo presentan un método para la calificación de ciertos materiales o productos. Son categorizadas ciertas variables tales como la aleación, el tipo de fabricación, el acabado, el recubrimiento, el esfuerzo, la seguridad y la función; estos factores deben ser considerados en el análisis de diseño antes de asignar una clase o grado del producto. El criterio de aceptación y rechazo establece el tamaño y tipo de una discontinuidad aceptable en un área especificada. El producto puede ser dividido por zonas para permitir diferentes niveles de calificación en diferentes posiciones sobre el producto, si se desea. Sin embargo, en muchos casos, el criterio de aceptación solo tiene un tamaño de discontinuidad arriba del cual el defecto debe ser removido o debe ser removido y reparado, o la pieza debe ser desechada.

## **viii. Anexos**

A continuación se incluye la traducción (sin valor técnico) del Artículo 9 de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas; así como, un procedimiento típico de inspección.

## ASME Sección V, Artículo 9 Examen Visual

### T-910 ALCANCE

(a) Este Artículo contiene métodos y requisitos para el examen visual aplicable, cuando sea especificado por una Sección de referencia del Código. Los procedimientos específicos de examen visual, requeridos para cada tipo de examen, no son incluidos en este Artículo, debido a que existe variedad de aplicaciones donde se requieren exámenes visuales. Algunos ejemplos de estas aplicaciones incluyen exámenes no destructivos, prueba de fuga, exámenes en servicio y procedimientos de fabricación.

(b) Los requisitos del Artículo 1, Requisitos Generales, son aplicables cuando el examen visual, de acuerdo con el Artículo 9, es requerido por una Sección de referencia del Código.

(c) La definición de los términos para el examen visual aparecen en el Artículo 1, Apéndice I – Glosario de Términos en Pruebas no Destructivas, y en el Artículo 9, Apéndice I.

### T-920 GENERALIDADES

#### T-921 Requisitos del procedimiento escrito

**T-921.1 Requisitos.** Los exámenes visuales deben realizarse de acuerdo con un procedimiento escrito, el cual debe, como mínimo, contener los requisitos enlistados en la Tabla T-921. El procedimiento debe establecer un valor simple, o rango de valores, para cada uno de los requisitos.

**T-921.2 Calificación del procedimiento.** Cuando sea especificada la calificación del procedimiento, un cambio en un requisito, de la Tabla T-921, identificado como una variable esencial requiere recalificación del procedimiento escrito por demostración. Un cambio de un requisito identificado como una variable no esencial no requiere recalificación del procedimiento escrito. Todos los cambios de variables esenciales y no esenciales especificadas en el procedimiento escrito deben requerir la revisión del procedimiento escrito, o por medio de una adenda.

**T-921.3 Demostración.** El procedimiento debe contener o hacer referencia a un reporte que haya sido usado para demostrar que el procedimiento de inspección fue adecuado. En general, una línea fina de 1/32 de pulgada

TABLA T-921  
REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO  
DE EXAMEN VISUAL

Requisito (como sea aplicable)	Variable esencial	Variable no esencial
Cambio en la Técnica utilizada		
Directa a o de translúcida	X	
Directa a remota	X	
Auxiliares para examen visual remoto	X	
Requisitos del desempeño del personal, cuando sea requerido	X	
Intensidad de iluminación (cuando reduce)	X	
Configuraciones inspeccionadas y formas del material base del producto (tubería, placa, forja, etc.)		X
Equipo de iluminación		X
Métodos o herramientas utilizadas para la preparación de la superficie		X
Equipo o accesorios utilizados para la técnica directa		X
Secuencia del examen		X
Calificación del personal		X

(0.8 mm) o menos de ancho, una imperfección artificial o una condición simulada, localizada sobre la superficie o una superficie similar a la que será examinada, puede considerarse como un método para la demostración del procedimiento.

#### T-922 Requisitos del personal

El usuario de este Artículo debe ser responsable de asignar el personal calificado para realizar exámenes visuales para cumplir con los requisitos de este Artículo. A opción del fabricante, puede mantener una certificación para cada uno de los productos, o varios registros firmados por separado basados en el área o el tipo de trabajo, o la combinación de ambos.

Donde sea impráctico recurrir o utilizar personal especializado en examen visual, el personal con conocimientos, experiencia y entrenamiento, que tenga calificaciones limitadas, puede ser asignado o utilizado para realizar exámenes específicos, y para firmar las formas de reporte. El personal que realice

exámenes debe ser calificado de acuerdo con los requisitos de la sección de referencia del Código.

### **T-923 Requisitos físicos**

El personal debe tener una prueba visual anual para asegurar la agudeza en distancia cercana natural o corregida, de tal forma que sea capaz de leer letras estándar J-1 en las cartas de prueba estándar tipo Jaeger para la visión cercana. Se aceptan pruebas de visión cercana equivalentes.

### **T-930 EQUIPO**

El equipo utilizado para las técnicas de examen visual, por ejemplo, directo, remoto, o translúcido, deben tener las capacidades adecuadas, como sea especificado en el procedimiento. Las capacidades incluyen, pero no están limitadas, a la observación (sistemas visuales), magnificación, identificación, medición, y/o registro de observaciones de acuerdo con los requisitos de la Sección de referencia del Código.

### **T-950 TÉCNICA**

#### **T-951 Aplicaciones**

El examen visual es generalmente usado para determinar cosas tales como la condición de la superficie de la parte, alineación de superficies, forma, o la evidencia de fuga. Además, el examen visual es utilizado para determinar la condición subsuperficial de un material compuesto (laminado translúcido).

#### **T-952 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. 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 demostradas una vez, documentarse y mantenerse en archivo.

#### **T-953 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.

#### **T-954 Examen Visual Translúcido**

El examen visual translúcido es un suplemento del examen visual directo. El método de examen visual translúcido utiliza la ayuda de iluminación artificial, la cual puede ser contenida en un iluminador que produce luz direccional. El iluminador debe proveer luz de una intensidad que ilumine y difunda la luz uniformemente a través del área o región que será examinada. La iluminación ambiental debe ser arreglada para que no exista resplandor de la superficie o reflexiones en la superficies que se examinan y debe ser menor que la luz aplicada a través del área o región que se examina. La fuente de luz artificial debe tener suficiente intensidad de luz para que permita "mirar a tras luz" cualquier variación de espesor del translúcido laminado.

### **T-980 EVALUACIÓN**

**T-981.1** Todos los exámenes deben ser evaluados en términos del estándar de aceptación de la Sección de referencia del Código.

**T-981.2** Debe ser usada una lista de control del examen, para planificar el examen visual y verificar que se realizaron las observaciones visuales requeridas. Esta lista de control establece los requisitos mínimos del examen y no indica el examen máximo, el cual puede realizar el fabricante en el proceso.

### **T-990 DOCUMENTACIÓN**

#### **T-991 Reporte del Examen**

**T-991.1** Un reporte escrito del examen debe contener la siguiente información:

- (a) La fecha del examen;
- (b) La identificación del procedimiento y la revisión utilizada;
- (c) La técnica utilizada;
- (d) Los resultados del examen;
- (e) La identificación del personal que realizó el examen, y, cuando sea requerido por la Sección de referencia del Código, el nivel de calificación;
- (f) La identificación de la parte o componente examinado.

**T-991.2** Aunque las dimensiones, etc., se registran durante el proceso del examen visual para ayudar en la evaluación, no es necesaria la

documentación de cada una de las verificaciones visuales o dimensionales.

La documentación debe incluir todas las verificaciones visuales y dimensionales especificadas por la Sección de referencia del Código.

**T-992 Documentación de la Funcionalidad**

La documentación para demostrar la funcionalidad debe ser completada cuando sea requerido por la Sección de referencia del Código.

**T-993 Conservación de Registros**

Los registros deben ser mantenidos como sea requerido por la Sección de referencia del Código.



PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>1</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

<b>OBJETIVO</b>
-----------------

<b>Establecer y especificar los requisitos y métodos necesarios para la inspección visual.</b>
--

	NOMBRE	TÍTULO	FIRMA	FECHA
<b>ELABORADO POR:</b>				
<b>REVISADO Y APROBADO POR:</b>				

<b>CONTROL DE REVISIONES</b>		
------------------------------	--	--

REVISIÓN	FECHA DE VIGENCIA	RESPONSABLE DE LA REVISION

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL	PROCEDIMIENTO
2	DE	15			LLOG-VT-001
REVISIÓN					
ORIGINAL					

## CONTENIDO

PÁRRAFO	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.0	OBJETIVO	3
2.0	ALCANCE	3
3.0	RESPONSABILIDADES	3
4.0	REQUISITOS DE PERSONAL	3
5.0	DEFINICIONES	3
6.0	NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA	4
7.0	REQUISITOS GENERALES	5
8.0	ÁREAS DE EXAMEN	6
9.0	DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN	8
10.0	INDICACIONES QUE DEBEN SER REGISTRADAS	9
11.0	EVALUACIÓN DE INDICACIONES	10
12.0	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	10
13.0	REPORTE DE INSPECCIÓN	14
14.0	ANEXOS	14

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO		
3	DE	15			PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL	LLOG-VT-001
REVISIÓN						
ORIGINAL						

### 1.0 OBJETIVO.

Establecer los requisitos y métodos necesarios para la inspección visual.

### 2.0 ALCANCE.

2.1 Este procedimiento describe los métodos para la inspección visual directa e inspección visual remota de soldaduras, metal base, bombas, válvulas, tubos, pernos y componentes de equipos para transferencia de calor, cuando sea requerido por los documentos del cliente o la orden de servicio, lo que sea aplicable.

2.2 Es aplicable para la inspección de cualquier tipo de material (acero, aleaciones de cobre, níquel, etc.), en componentes de cualquier configuración geométrica.

### 3.0 RESPONSABILIDADES.

3.1 Es responsabilidad del personal técnico de pruebas no destructivas de LLOG, S.A. de C.V. nivel I, realizar inspecciones de acuerdo con los requisitos de éste procedimiento.

3.2 Es responsabilidad del personal técnico de pruebas no destructivas de LLOG, S.A. de C.V. nivel II ó nivel III, realizar inspecciones, interpretar, evaluar y reportar los resultados, de acuerdo con los requisitos de éste procedimiento.

3.3 Es responsabilidad del Gerente de Aseguramiento de la Calidad de LLOG, S.A. de C.V. del control y actualización de éste procedimiento.

3.4 Es responsabilidad del personal técnico nivel III de pruebas no destructivas de LLOG, S.A. de C.V. la revisión y aprobación de éste procedimiento.

### 4.0 REQUISITOS DE PERSONAL.

4.1 El personal que realice las inspecciones, interprete, evalúe y elabore el reporte de resultados, debe estar calificado y certificado como nivel I, II o III en el método de inspección visual de acuerdo con el procedimiento No. LLOG-CC-001.

### 5.0 DEFINICIONES.

5.1 **Defecto**—Una discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no cumplen un criterio de aceptación especificado.

5.2 **Discontinuidad**—Una interrupción, que puede ser intencional o no, en la estructura física o configuración de una parte.

5.3 **Discontinuidad inducida en servicio**—Discontinuidades que resultan de la vibración, esfuerzos excesivos, problemas de corrosión, etc.

5.4 **Evaluación**—Una revisión, después de la interpretación, de las indicaciones observadas para determinar si cumplen o no con el criterio de aceptación especificado.

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO	
4	DE	15		PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL	LLOG-VT-001
REVISIÓN					
ORIGINAL					

- 5.5 **Examen visual**–Examen aplicado para determinar las condiciones mecánicas y estructurales generales de componentes y sus soportes, tales como la presencia de escombros o productos anormales de corrosión, desgaste, erosión, corrosión, pérdida de partes y la pérdida en la integridad de conexiones roscadas o soldadas.
- 5.6 **Imperfección**–La desviación de una característica de calidad para una condición intentada.
- 5.7 **Indicación**–La que marca o denota la presencia de algo. Evidencia de una discontinuidad, que requiere interpretación para determinar su significado.
- 5.8 **Indicación falsa**–Una indicación que es interpretada como causada por una condición diferente a una discontinuidad o imperfección.
- 5.9 **Indicación lineal**–Aquellas indicaciones que son de tipo grieta, dentadas o que tienen extremos agudos o que tienen una longitud igual o mayor que tres veces su ancho.
- 5.10 **Indicación no relevante**–Una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazable. Las indicaciones falsas son no relevantes.
- 5.11 **Indicación redonda**–Aquellas indicaciones que son de forma circular o elíptica con una longitud menor que tres veces su ancho.
- 5.12 **Indicación relevante**–Una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad, que requiere ser evaluada.
- 5.13 **Interpretación**–La acción de determinar si las indicaciones son relevantes, no relevantes o falsas.
- 5.14 **Pérdida**–Reducción o destrucción de un material debido a erosión o corrosión.
- 6.0 NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA.**
- Este procedimiento se apega a los siguientes documentos:
- 6.1 ASME BPV CODE, SECTION V, ARTICLE 9, VISUAL EXAMINATION, ED. 2004 (Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Artículo 9, Examen Visual, ED. 2004).
- 6.2 AWS D1.1 STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL, ED. 1998 (AWS D1.1 Código para Estructuras Soldadas de Acero, ED. 1998).
- 6.3 API STANDAR 1104, SEPTEMBER 1999. Welding of Pipelines and Related Facilities (Estándar API 1104, Septiembre 1999, Soldadura de Sistemas de Tubería e Instalaciones Relacionadas).
- 6.4 API STANDAR 650, ED. 1980. Welded Steel Tanks for Oil Storage (Estándar API 650, Ed. 1980, Tanques Soldados de Acero para Almacenamiento de Petróleo).
- 6.5 ASME BPV CODE, SECTION VIII, DIVISION 1, ED. 1983 (Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección VIII, División 1, ED. 1983).

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>5</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

## 7.0 REQUISITOS GENERALES.

### 7.1 Equipo y accesorios.

7.1.1 El equipo para inspección visual directa que puede ser utilizado es el siguiente:

- a) Reglas, escalas, cintas métricas, flexómetros, calibradores vernier, micrómetros, indicadores de carátula
- b) Lámparas, incandescentes o fluorescentes, portátiles o fijas, puntuales o de inundación
- c) Espejos
- d) Calibradores de soldadura (de varios tipos, como el Bridgecam, calibradores de filete, Hi-Lo, etc.)
- e) Comparadores de superficie
- f) Lentes magnificadores (de 5X a 10X)

7.1.2 El equipo para inspección visual remota que puede ser utilizado es el siguiente:

- a) Binoculares
- b) Boroscopios
- c) Fibroscopios
- d) Videoprobadores o videoscopios flexibles
- e) Cámaras  
De película  
Digital
- f) Sistema o equipo de video  
Sistema de video para boroscopio rígido  
Sistema de video para videoprobador o videoscopio
- g) Instrumentos de registro  
Registradores digitales de video  
Registradores de videocasete
- h) Monitores  
Monitores de alta resolución
- i) Fuentes de luz adecuadas para el equipo utilizado

7.1.3 De preferencia, el inspector debería tener disponibles los dibujos correspondientes para revisarlos y familiarizarse con los detalles aplicables al componente particular inspeccionado.

### 7.2 Requisitos de Iluminación

7.2.1 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 demostradas una vez, documentarse y mantenerse en archivo.

7.2.2 La fuente de luz, la técnica usada y la verificación del nivel de luz requieren ser demostradas una vez, y deben documentarse y mantenerse en archivo.

### 7.3 Requisitos de temperatura

7.3.1 La junta soldada o el componente deben tener una temperatura tal que las áreas de interés y los atributos puedan ser inspeccionados adecuadamente.

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO	
6	DE	15		PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL	LLOG-VT-001
REVISIÓN					
ORIGINAL					

#### 7.4 Demostración de lo adecuado del procedimiento y del examen

7.4.1 Antes de realizar el examen se debe demostrar que el procedimiento de inspección es adecuado.

7.4.1.1 En general, una línea fina de 1/32 de pulgada (0.8 mm) o menos de ancho, una imperfección artificial o una condición simulada, localizada sobre la superficie o una superficie similar a la que será examinada, puede considerarse como un método para la demostración del procedimiento.

#### 7.5 Requisitos para el equipo de inspección visual remota

7.5.1 Los auxiliares visuales o sistemas para inspección visual remota deben tener una capacidad de resolución al menos equivalente a la que se obtiene por observación visual directa.

### 8.0 ÁREAS DE EXAMEN.

8.1 Las zonas de interés y superficies a inspeccionar deben ser examinadas como se define a continuación, a menos que el cliente o los documentos aplicables establezcan otros requisitos más estrictos para materiales o aplicaciones específicas.

#### 8.1.1 Metal base y soldadura

8.1.1.1 Deben ser examinados todos los atributos relacionados y requeridos para la soldadura, incluyendo los correspondientes al metal base; las características dimensionales deben ser verificadas utilizando el equipo de medición adecuado.

#### 8.1.2 Inspección general de los atributos de una junta soldada

##### 8.1.2.1 Inspección final de soldaduras de filete

8.1.2.1.1 Perfil adecuado del filete

8.1.2.1.2 Tamaños requeridos de las piernas y gargantas

8.1.2.1.3 Espaciamientos o longitudes queridas, si es necesario

8.1.2.1.4 Defectos de soldadura

8.1.2.1.5 Defectos del material base

##### 8.1.2.2 Inspección final de soldaduras a tope de ranura y de soldaduras de ramales

8.1.2.2.1 Alineación

8.1.2.2.2 Refuerzo de la soldadura

8.1.2.2.3 Defectos de soldadura

8.1.2.2.4 Defectos del material base

8.1.2.2.5 Cuando sea posible, debe inspeccionarse la superficie del diámetro interior

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>7</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

### 8.1.3 Inspección de válvulas y bombas

8.1.2.3.1 Las superficies externas e internas de la frontera de presión de válvulas y bombas deben ser examinadas donde sea posible

8.1.2.3.2 Cuando una válvula o bomba sea desensambla, deben realizarse exámenes adicionales en sus componentes internos, con una cobertura hasta donde sea prácticamente posible. Los exámenes deben realizarse de acuerdo con lo especificado con el documento autorizado de trabajo y/o la especificación de ingeniería del cliente

### 8.1.4 Inspección de componentes

8.1.4.1 El área de interés debe ser examinada visualmente para detectar discontinuidades superficiales; además, deben ser examinadas las superficies adyacentes al área de interés, cuando tales superficies se encuentren expuestas.

8.1.4.2 Debe conocerse la función de los componentes antes del examen, como ayuda para el inspector, para que pueda determinar los tipos de discontinuidades que puedan estar presentes.

8.1.4.3 Los componentes tales como tanques o recipientes a presión, que se encuentren presurizados o que contengan fluidos pueden exhibir discontinuidades tales como:

- A. Grietas
- B. Fugas
- C. Corrosión
- D. Erosión
- E. Distorsión
- F. Reducción del espesor o adelgazamiento de pared
- G. Corte por vapor

8.1.4.4 Los componentes tales como válvulas o bombas, las cuales operan con movimiento para realizar sus funciones pueden exhibir discontinuidades tales como:

- A. Grietas
- B. Desgaste
- C. Distorsión de metal
- D. Erosión
- E. Componentes adheridos o amarrados
- F. Rayones
- G. Pérdida de partes

8.1.4.5 Los componentes tales como tubería o intercambiadores de calor expuestos a altas temperaturas pueden exhibir discontinuidades tales como:

- A. Grietas
- B. Distorsión
- C. Desplazamiento
- D. Bloqueo

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>8</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

8.1.4.6 Componentes bajo cargas o tensión tales como sujetadores (pernos, tornillos, etc.) pueden exhibir discontinuidades tales como:

- A. Grietas
- B. Distorsión
- C. Torcimiento
- D. Reducción
- E. Reducción del espesor o adelgazamiento de pared

## **9.0 DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN**

### **9.1 Preparación de la superficie.**

9.1.1 El área de interés, de la superficie a inspeccionar, y sus zonas adyacentes (al menos a una pulgada) deben estar secas y libres de grasa, aceite, polvo, óxidos, pintura y material extraño que pueda interferir con el examen. En el caso de juntas soldadas, el área de interés incluye una pulgada adyacente a cada lado del cordón de soldadura.

9.1.1.1 Cuando se requiera de limpieza, se pueden emplear los agentes de limpieza comunes como son: detergentes, solventes orgánicos, soluciones desincrustantes, removedores de pintura o desengrasantes, siempre y cuando sean fácilmente lavables antes de iniciar la inspección.

9.1.2 El examen visual puede efectuarse sobre superficies con acabado tal como: rolado, fundido o soldado; sin embargo, puede requerirse una preparación de la superficie por medio de maquinado, esmerilado, granalla o chorro de arena, para eliminar irregularidades que pudieran enmascarar las discontinuidades.

### **9.2 Métodos / técnicas de inspección.**

#### **9.2.1 Examen visual directo**

9.2.1.1 El examen visual directo debe 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.

9.2.1.2 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.

9.2.1.3 Se requiere iluminación (natural o luz blanca suplementaria) de la parte específica, componente, recipiente o la sección que será examinada.

#### **9.2.2 Examen visual remoto**

9.2.2.1 Donde no es posible realizar el examen visual directo, debe ser utilizado el examen visual remoto.

9.2.2.2 El examen visual remoto puede incluir uno o más, pero no está limitado, a los siguientes auxiliares visuales: espejos, binoculares, telescopios, boroscopios, fibra óptica, videoprobadores o videoscopios flexibles y cámaras.



PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>9</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

### 9.3 Para productos AWS D1.1

9.3.1 Se debe verificar que el tamaño, longitud y localización de todas las soldaduras cumplen con los requisitos y detalles de los dibujos correspondientes, y que no hayan sido agregadas soldaduras no especificadas sin aprobación.

### 9.4 Marcas de localización de referencia.

9.4.1 Cada componente inspeccionado debe ser identificado con una marca de localización de referencia. La marca de referencia debe ser localizada de la siguiente forma:

9.4.1.1 En componentes horizontales, la marca de referencia deberá ser localizada en la parte superior, cercana a: la placa de identificación, entrada hombre, extremo Norte, extremo Este, parte frontal, entrada de fluido, etc., lo que sea aplicable.

9.4.1.2 En componentes verticales, la marca de referencia deberá ser localizada hacia la parte norte, cercana a: la placa de identificación, entrada hombre y/o nivel de piso, lo que sea aplicable.

9.4.1.3 La localización de cualquier discontinuidad que deba ser registrada, sobre el componente y en el dibujo o croquis, fotografía o video complementario del reporte de resultados, deberá tener como referencia la marca de localización. Se debe considerar como inicio la marca de referencia y, sucesivamente, el sentido del flujo, de Norte a Sur o de Este a Oeste, de abajo hacia arriba o en el sentido de las manecillas del reloj.

9.4.1.4 Las marcas de referencia deben ser identificadas sobre el material base, por estampado mecánico de bajo esfuerzo o con pintura.

### 10.0 INDICACIONES QUE DEBEN SER REGISTRADAS

10.1 Se deben registrar y documentar todas las condiciones siguientes en la hoja de datos o reporte aplicable. La información registrada debe proporcionar la descripción detallada, incluyendo la localización, tamaño y extensión de la condición:

10.1.1 Grietas o indicaciones de tipo grieta

10.1.2 Corrosión, erosión, picaduras, corte por vapor

10.1.3 Desgaste de superficies ensambladas o ajustadas, rasguños, rayones

10.1.4 Daño estructural o mecánico, desplazamientos, distorsión

10.1.5 Pérdida de partes como sujetadores (pernos, tornillos, etc.)

10.1.6 Restos o escombros observados dentro de componentes, resortes atorados, etc.

10.1.7 Pérdida de integridad de conexiones, donde los sujetadores no realizan completamente su función, reducción de su diámetro, etc.

10.1.8 Alineación de partes, distorsión

10.1.9 Fuga

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>10</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

10.2 Procedimientos, especificaciones o documentos de ingeniería pueden alterar o eliminar partes de o el criterio completo de registro y pueden establecer nuevos criterios.

10.3 En caso de utilizar fotografía o video como medio de registro de la condición, en la imagen debe aparecer una referencia dimensional que muestre la proporción real de la condición, para lo cual puede utilizarse una regla, escala, calibrador vernier, etc.

### 11.0 EVALUACIÓN DE INDICACIONES

11.1 No todas las indicaciones son necesariamente discontinuidades, la rugosidad excesiva en la superficie, los extremos de zonas afectadas térmicamente, etc., pueden producir indicaciones parecidas a discontinuidades.

11.2 Cualquier indicación cuestionable o dudosa debe ser reexaminada para determinar, en todo caso, si es o no relevante.

11.3 La evaluación de discontinuidades será efectuada por dimensionamiento directo.

### 12.0 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

#### 12.1 Para productos AWS D1.1

12.1.1 Perfiles de la soldadura.

12.1.1.1 Todas las soldaduras deben estar libres de los perfiles inaceptables mostrados en la figura No. 1 del anexo A.

12.1.1.2 Las caras de las soldaduras de filete pueden ser ligeramente convexas, planas o ligeramente cóncavas, como se muestra en la figura No.1. El inciso "C" muestra los perfiles de soldaduras de filete típicamente inaceptables.

12.1.1.3 Con excepción de socavados, los requisitos de la figura No. 1 no aplican para los extremos de soldaduras intermitentes de filete más allá de su longitud efectiva.

12.1.1.4 Con excepción de los extremos externos de soldaduras en juntas de esquina, la convexidad de una soldadura o superficies individuales de cordones no debe exceder los valores proporcionados en la figura No.1(C).

12.1.1.5 Las soldaduras de ranura deben ser hechas con un refuerzo mínimo de cara, a menos que otra cosa sea especificada. En el caso de juntas a tope y en esquina, el refuerzo de la cara no debe exceder de 1/8" (3 mm) de altura. Todas las soldaduras deben tener una transición gradual con respecto al plano de las superficies del metal base, con las áreas de transición libres de socavado, excepto como sea permitido. La figura No. 1(D) muestra perfiles de soldaduras de ranura típicamente aceptables en juntas a tope. La figura No. 1(E) muestra perfiles de soldaduras típicamente inaceptables para soldaduras de ranura en juntas a tope.

12.1.1.6 Para superficies que requieran ser niveladas a ras deben ser acabadas de tal forma que no se reduzca el espesor del metal base más delgado o el metal de soldadura por más de 1/32" (1 mm), o el 5% del espesor del material, cualquiera que sea menor. El refuerzo remanente no debe exceder de 1/32" de altura. Sin embargo, todo el refuerzo debe ser removido donde la soldadura forma parte de una junta o superficie en contacto. Todo el refuerzo debe ser uniformemente nivelado con las superficies de la placa con áreas de transición libres de socavado.

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>11</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

## 12.1.2 Discontinuidades de la soldadura.

12.1.2.1 Las soldaduras deben ser aceptadas si satisfacen el criterio de la Tabla 1 siguiente:

Tabla 1

Categoría de la discontinuidad	Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas	Conexiones No Tubulares Cíclicamente Cargadas	Conexiones Tubulares (Todo tipo de cargas)
<b>(1) Prohibición de grietas</b> La soldadura no debe tener grietas.	Aplicable	Aplicable	Aplicable
<b>(2) Fusión entre soldadura y metal base</b> Debe existir fusión completa entre capas adyacentes de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.	Aplicable	Aplicable	Aplicable
<b>(3) Cráter a través de la sección transversal</b> Todos los cráter en toda la sección transversal de la soldadura deben ser rellenados, excepto en extremos de soldaduras intermitentes de filete, fuera de su longitud efectiva.	Aplicable	Aplicable	Aplicable
<b>(6) Faltante</b> Una soldadura de filete en cualquier soldadura continua sencilla, se le debe permitir un faltante del tamaño nominal del filete especificado de 1/16" (1.6 mm) sin corrección, con la condición de que la porción faltante de soldadura no exceda el 10% de longitud de la soldadura. En soldaduras para unir alma y patín en vigas o traveses, no se permiten faltantes en los extremos con una longitud igual a dos veces el ancho del patín.	Aplicable	Aplicable	Aplicable
<b>(7) Socavado</b> (A) Para materiales con espesor menor de 1" (25.4 mm) el socavado no debe exceder de 1/32" (1 mm), excepto que es permitido un máximo de 1/16" (1.6 mm) para una longitud acumulada de 2" (50 mm) en cualquier longitud de 12" (305 mm). Para material igual o mayor que 1" de espesor, el socavado no debe exceder de 1/16" para cualquier longitud de soldadura.  (B) En miembros primarios, el socavado no debe ser mayor de 0.01" (0.25 mm), de profundidad cuando la soldadura es transversal a los esfuerzos de tensión bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado no debe ser mayor de 1/32" (1 mm) de profundidad para todos los otros casos.	Aplicable		
<b>(8) Porosidad</b> (A) Las soldaduras de ranura con penetración completa en juntas a tope transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados no deben tener porosidad tubular visible. Para las otras soldaduras de ranura y soldaduras de filete, la suma de la porosidad tubular visible de 1/32" (1 mm) de diámetro o mayores no debe exceder de 3/8" (10 mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder de 3/4" (19 mm) en cualquier longitud de 12" (305 mm) de soldadura.	Aplicable		

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>12</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

Tabla 1 (Continuación)

Categoría de la discontinuidad	Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas	Conexiones No Tubulares Cíclicamente Cargadas	Conexiones Tubulares (Todo tipo de cargas)
<b>(8) Porosidad</b> (B) La frecuencia de la porosidad tubular en soldaduras de filete no debe exceder de una en cada 4" (100 mm) de longitud de soldadura y el diámetro máximo no debe exceder de 3/32" (2 mm). Excepción: Para soldaduras de filete que conectan refuerzos al alma, la suma de los diámetros de porosidad tubular, no debe exceder de 3/8" (10 mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder de 3/4" (19 mm) en cualquier longitud de 12" (305 mm) de soldadura.		Aplicable	Aplicable
(C) Las soldaduras de ranura de penetración completa en juntas a tope transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados, no deben tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de ranura, la frecuencia de la porosidad tubular no debe exceder de una en 4" (100 mm) de longitud y el diámetro máximo no debe exceder 3/32" (2 mm).		Aplicable	Aplicable

12.1.2.2 Todas las soldaduras deben estar libres de golpes de arco, salpicaduras de soldadura, quemadas y traslapes.

12.1.2.3 Las superficies soldadas no deben presentar ondulaciones burdas o gruesas, valles o lomas abruptas y extremos abultados.

## 12.2 Para productos API 1104

12.2.1 Cuando se utilizan medios mecánicos para determinar la profundidad, el socavado adyacente a los cordones de cubierta o de raíz no deben exceder las dimensiones encontradas en la Tabla 2 a continuación:

Tabla 2

Profundidad	Longitud
Mayor a 1/32" (0.8 mm) o mayor a 12.5% del espesor de pared de la tubería, cualquiera que sea menor	No es aceptable
Mayor a 1/64" (0.4 mm) o mayor a 6% e igual al 12.5% del espesor de pared de la tubería, cualquiera que sea menor	2" (50 mm) en una longitud continua de 12" (300 mm) de soldadura o un sexto de la longitud de la soldadura, cualquiera que sea menor
Menor-igual a 1/64" (0.4 mm) o menor-igual a 6% del espesor de pared de la tubería, cualquiera que sea menor	Aceptable sin importar su longitud

## 12.3 Para productos API 650

12.3.1 Son inaceptables los siguientes defectos de la soldadura:

1. Escoria

PÁGINA			TÍTULO:  <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
<b>13</b>	DE	<b>15</b>		<b>LLOG-VT-001</b>
REVISIÓN				
<b>ORIGINAL</b>				

2. Socavados con profundidad mayor a 1/64" (0.4 mm) para juntas a tope verticales
3. Socavados con profundidad mayor a 1/32" (0.8 mm) para juntas a tope horizontales
4. Ángulos agudos en los dedos de las soldaduras
5. Puntos de soldadura remanentes, utilizados para la alineación de la junta
6. Desalineamiento
  - a. Juntas a tope verticales: No debe exceder un 10% o 1/16" (1.5 mm), lo que sea mayor
  - b. Juntas a tope horizontales: No debe exceder un 20% o 1/18" (3 mm), lo que sea mayor

12.3.2 Para juntas a tope el refuerzo de la soldadura no debe exceder lo indicado en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 3

Espesor de la placa	Juntas verticales	Juntas horizontales
1/2" (12.7 mm) y menores	3/32" (2 mm)	1/8" (3 mm)
Mayor a 1/2" (12.7 mm) y, hasta 1" (25.4) inclusive	1/8" (3 mm)	3/16" (4 mm)
Mayor a 1" (25.4 mm)	3/16" (4 mm)	1/4" (6 mm)

#### 12.4 Para productos ASME SECTION VIII, DIVISIÓN 1

12.4.1 Las superficies soldadas no deben presentar ondulaciones burdas o gruesas, valles o lomas abruptas y extremos abultados.

12.4.2 Para soldaduras de filete

12.4.2.1 Cualquier soldadura continua sencilla puede ser menor al tamaño especificado, excepto que la reducción en el tamaño no sea mayor a 1/16" (1.5 mm). La porción total de la soldadura con tamaño menor no debe exceder el 10% de la longitud de la soldadura y la porción más larga, con tamaño menor, no debe ser mayor de 2" (50 mm) de longitud.

12.4.2.2 Los siguientes defectos son inaceptables:

1. Grietas
2. Falta de fusión
3. Penetración incompleta
4. Golpes de arco
5. Cráter
6. Socavados mayores a 1/32" (0.8 mm)
7. Escoria
8. Salpicaduras de soldadura
9. Quemadas

12.4.3 Para soldaduras a tope de ranura

12.4.3.1 Los siguientes defectos son inaceptables:

1. Grietas
2. Falta de fusión

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO	
14	DE	15		PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL	LLOG-VT-001
REVISIÓN					
ORIGINAL					

3. Penetración incompleta
4. Concavidad, cuando el espesor de pared se encuentre por debajo del espesor de pared mínimo requerido
5. Ángulos agudos en los dedos de las soldaduras

### 13.0 REPORTE DE INSPECCIÓN

13.1 Los resultados de cada inspección deben ser reportados por el Nivel II o III en el formato de reporte de inspección, al cual se le anexará cualquier documentación, información o dibujo necesario que permita el seguimiento del reporte al (los) componente(s), zona(s) de (los) componente(s) o unión(es) soldada(s) inspeccionada(s).

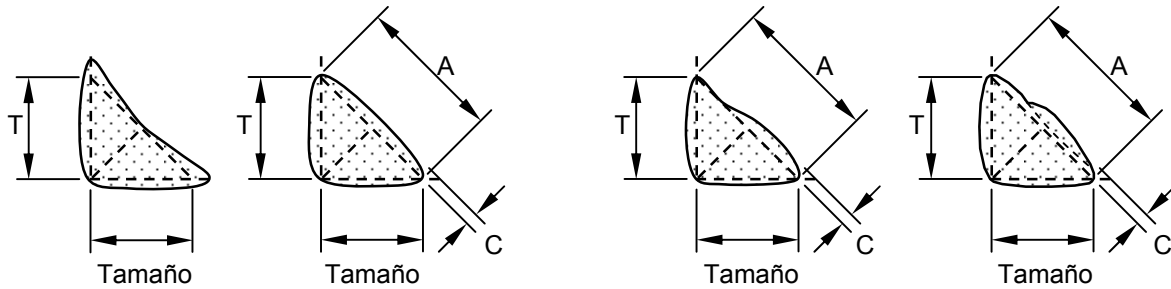
13.1.1 La localización de las indicaciones debe ser documentada dentro del formato de reporte o en un croquis anexo, dimensionando aproximadamente a escala la zona o pieza inspeccionada.

### 14.0 ANEXOS

- |      |         |   |
|------|---------|---|
| 14.1 | Anexo A | Figura No. 1: Perfiles de soldadura aceptables e inaceptables |
| 14.2 | Formato | Reporte de Inspección   |

PÁGINA			TÍTULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL</b>	PROCEDIMIENTO
15	DE	15		LLOG-VT-001
REVISIÓN				
ORIGINAL				

**ANEXO A**

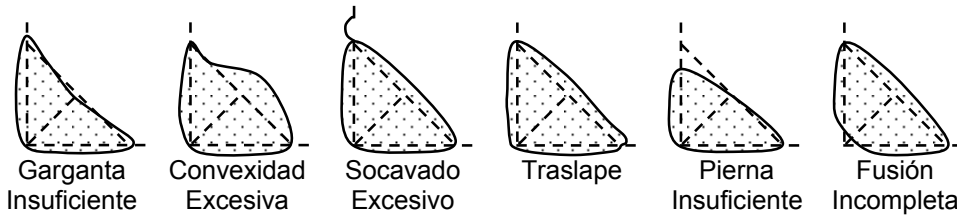


(A) Perfiles de soldadura de filete deseables

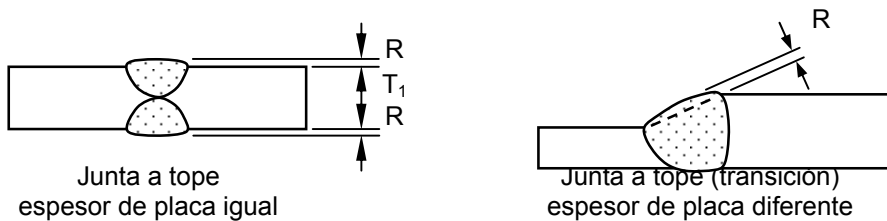
(B) Perfiles de soldadura de filete aceptables

Nota: La convexidad (C) de una soldadura o cordón superficial individual con dimensión (A) no debe exceder el valor de la tabla siguiente:

Ancho de la cara de la soldadura o cordón superficial individual	Máxima convexidad (C)
$A \leq 5/16''$ (8 mm)	1/16'' (1.6 mm)
$A > 5/16''$ (8 mm) hasta $A < 1''$ (25.4 mm)	1/8'' (3 mm)
$A \geq 1''$ (25.4 mm)	3/16'' (5 mm)

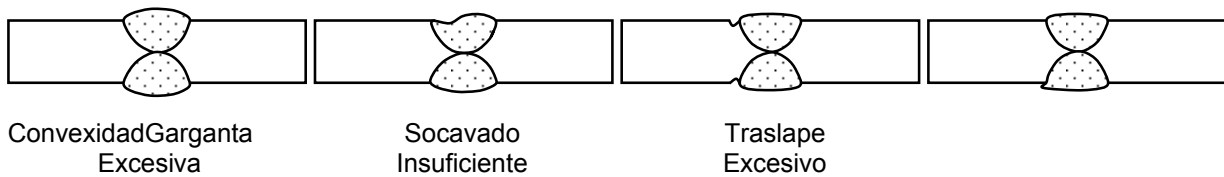


(C) Perfiles de soldadura de filete inaceptables



Nota: El refuerzo (R) no debe exceder de 1/8'' (3 mm).

(D) Perfiles aceptables en soldadura de ranura en junta a tope



(E) Perfiles inaceptables en soldadura de ranura en junta a tope

## REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

### 1.-GENERALIDADES.

REPORTE No.:	FECHA:	HOJA: DE
CLIENTE:	OBRA:	

### 2.-DATOS DE LA PIEZA.

DESCRIPCION DE LA PIEZA:	
DIMENSIONES:	TIPO DE MATERIAL:
No. DE PARTE:	No. DE SERIE:
PROCESO DE FABRICACIÓN:	
DIBUJO O PLANO DE REFERENCIA:	
ACABADO SUPERFICIAL:	
ZONA INSPECCIONADA:	

### 3.-INFORMACION SOBRE LA INSPECCION.

PROCEDIMIENTO No.:	REVISION:	NORMA:
MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL:	DIRECTO	REMOTO
DISTANCIA MÁXIMA AL SITIO:	ÁNGULO APROXIMADO A LA SUPERFICIE:	

### 4.-AUXILIARES VISUALES.

MAGNIFICADOR (LENTES)	PODER DE MAGNIFICACIÓN	ESPEJO
TIPO DE FUENTE DE ILUMINACIÓN:		

### 5.-HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN.

HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN LINEAL
CALIBRADORES DE SOLDADURA

### 6-EQUIPO PARA INSPECCIÓN VISUAL REMOTA.

TIPO:	BOROSCOPIO	FIBROSCOPIO	VIDEOPROBADOR O VIDEOSCOPIO
MARCA:	MODELO:	No. DE SERIE:	

### 7-OBSERVACIONES.

<hr/> <hr/>
-------------

ACEPTADO <input type="checkbox"/> RECHAZADO <input type="checkbox"/>	CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____ _____ _____
--	---

ELABORO:	APROBO:	CLIENTE:
NIVEL _____ SNT-TC-1A	NIVEL _____ SNT-TC-1A	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA: