

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**METODOLOGÍA PARA INSPECCIÓN VISUAL REMOTA EN  
JUNTAS SOLDADAS DE TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE  
MAYORES A 4" DE DIÁMETRO Y CON ESPESORES HASTA  
3MM EMPLEANDO EL VIDEOSCOPIO LENOX MODELO PVS**

Tesis para optar el título de **Ingeniero Mecánico**, que presenta el bachiller:

**CARLOS HUMBERTO CARBAJAL OLIVERA**

**ASESOR: Ing. Daniel Merino Ponce**

**Lima, Febrero del 2017**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, haberme cuidado todos los días de mi vida y por haber crecido en una hermosa familia.

Agradezco a mis padres Hermes Carbajal Cribillero y Dora Olivera Beltrán, por todo el esfuerzo que hicieron para darme la oportunidad de estudiar en la mejor universidad del Perú, por estar siempre pendientes de mí a pesar de vivir en USA y por motivarme a culminar la tesis.

Asimismo, agradezco a mi esposa Carolina Chonón Mujica por su amor, por su empuje y por incentivar me a ser cada día mejor. A mi tía Teresa Carbajal Cribillero por su cariño desinteresado, su atención y por incentivar me a culminar mi tesis.

Por último, agradezco a mi asesor el Ing. Daniel Merino Ponce por su gran apoyo y su buena disposición desde que tomé el tema de tesis hasta que la culminé.

## RESUMEN

En el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) se vienen brindando servicios a la industria desde 1973. Actualmente el Laboratorio de Materiales de la PUCP cuenta con un prestigio ganado a lo largo de su trayectoria y brinda los servicios de los ensayos no destructivos como: Inspección Visual, Líquidos penetrantes, Partículas Magnéticas, Radiografía Industrial y Ultrasonido a las empresas más importantes del medio.

En las empresas de rubro alimentario, en especial la empresa Backus tiene la necesidad de supervisar que las juntas soldadas de las tuberías de acero inoxidable, por donde se transporta miles de litros de cerveza, se encuentren bien elaboradas. Es cierto que mediante el uso de la radiografía industrial se puede corroborar la sanidad de la junta soldada, pero lo que no detecta la radiografía es la posible oxidación (carbonización), que puede presentarse cuando no se realiza un aislamiento adecuado de argón al interior de la tubería antes de proceder a soldar, pero con el Videoscopio Lenox, del laboratorio de materiales de la PUCP, mediante la inspección visual remota si se puede hacer, pero no existe una metodología para la inspección por medio de este equipo.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo desarrollar una metodología para inspeccionar visualmente las juntas soldadas de tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm, empleando el Videoscopio Lenox modelo PVS.

Para conseguir el objetivo planteado, la tesis detalla los criterios de aceptación y rechazo de uniones soldadas en tuberías de acero inoxidable, que nos servirá para elaborar las imágenes patrones de discontinuidades no permitidas por el código AWS D18.1. Se preparó 02 prototipos, uno para realizar el soldeo sin purga con gas argón,

el cual permitirá capturar la imagen patrón de la oxidación en una unión soldada al interior de la tubería y el segundo prototipo para realizar el soldeo con previa purga de gas argón, el cual permitirá demostrar que es indispensable purgar las tuberías de acero inoxidable para garantizar la sanidad de la junta soldada, a pesar que sea costoso por el número de metros de tubería que normalmente tienen las empresas de rubro alimentario.

Se detalla las características técnicas de cada equipo que conforman el Videoscopio Lenox modelo PVS, así como sus partes más importantes, que permitirá familiarizarse con el equipo antes de usarlo.

Finalmente se elabora el procedimiento para el uso del Videoscopio Lenox modelo PVS en la inspección visual remota para tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm y se elaboran las imágenes patrones de discontinuidades no permitidas por el código AWS D18.1 haciendo uso de los prototipos preparados.



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TÍTULO : **METODOLOGÍA PARA INSPECCIÓN VISUAL REMOTA EN JUNTAS SOLDADAS DE TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE MAYORES A 4" DE DIÁMETRO Y CON ESPEORES HASTA 3 MM EMPLEANDO EL VIDEOSCOPIO LENOX MODELO PVS**

ÁREA : Materiales # 127

PROPUESTO POR : Ing. Daniel Merino Ponce

ASESOR : Ing. Daniel Merino Ponce

TESISTA : Carlos Humberto Carbajal Olivera

CÓDIGO : 20037007

FECHA : 30 de Noviembre del 2016



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Entre los múltiples servicios que el laboratorio de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú realiza a la empresa Backus, la inspección remota asistida por videoscopio es una de las más importantes, es ahí la necesidad de elaborar un procedimiento para la realización de inspección visual remota en tuberías soldadas el cual permitiría al personal calificado hacer uso adecuado de este equipo y además apoyarse en las imágenes patrones que se elaborarán en esta tesis para la identificación de las discontinuidades que se pueden presentar en el interior de una tubería.

El Objetivo General de la tesis es elaborar una metodología para la realizar la inspección visual remota de juntas soldadas de tuberías de acero Inoxidable mayores de 4"diámetro y con espesores hasta 3mm empleando el Videoscopio Lenox modelo PVS siguiendo los lineamientos del Código ASME V (BOILER & PRESSURE VESEEL CODE) y el código AWS D18.1.



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**METODOLOGÍA PARA INSPECCIÓN VISUAL REMOTA EN JUNTAS SOLDADAS DE  
TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE MAYORES A 4" DE DIÁMETRO Y CON  
ESPEORES HASTA 3 MM EMPLEANDO EL VIDEOSCOPIO LENOX MODELO PVS**

Introducción

1. Marco Teórico
2. Criterios de aceptación y rechazo de uniones soldadas en tuberías de acero inoxidable según el código AWS D18.1.
3. Procedimiento de la Inspección Visual Remota y elaboración de imágenes patrones de discontinuidades no permitidas por el código AWS D18.1

Observaciones

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

*Máximo: 100 páginas*

Ing. Merino P. Daniel  
Asesor

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE FIGURAS.....	i
INTRODUCCIÓN.....	1
I. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 Ensayos No Destructivos .....	4
1.2 Clasificación de los ensayos No Destructivos .....	5
1.2.1 Discontinuidades Superficiales.....	5
1.2.2 Discontinuidades Volumétricas .....	6
1.3 Inspección Visual .....	6
1.3.1 Definición .....	6
1.3.2 Objetivo.....	6
1.3.3 Clasificación de la Inspección Visual.....	7
1.3.3.a Inspección Visual Directa .....	7
1.3.3.b Inspección Visual Remota .....	7
1.4 Principales discontinuidades que se presentan en uniones soldadas .....	10
1.5 Causas y consecuencias de los defectos .....	13
1.6 Procesos de soldeo por arco que utilizan gas de protección .....	14
1.6.1 Proceso GTAW .....	14
1.6.2 Principales Ventajas y Limitaciones del proceso TIG .....	15
1.6.3 Aplicaciones.....	16
1.7 Purgado previo al soldeo.....	16
1.8 Limitación del espesor y diámetro de las tuberías a inspeccionar .....	17
1.8.1 Limitación del espesor .....	17
1.8.2 Limitación del diámetro .....	18
II. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE UNIONES SOLDADAS EN TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE Y PREPARACIÓN DEL PROTOTIPO.....	19
2.1 Criterios de Aceptación y rechazo de uniones soldadas en tuberías	

de Acero Inoxidable .....	19
2.1.1 Criterios de aceptación y rechazo para toda unión soldada .....	19
2.1.2 Criterios de aceptación y rechazo para una inspección por el exterior de la unión soldada .....	20
2.1.3 Criterios de aceptación y rechazo para una inspección por el interior de la unión soldada .....	21
2.2 Preparación del prototipo .....	23
2.2.1 Junta sin Purga .....	24
2.2.2 Junta con Purga .....	25
<b>III. PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN VISUAL REMOTA Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES PATRONES DE DISCONTINUIDADES NO PERMITIDAS POR EL CÓDIGO AWS D18.1</b>	
3.1 Objetivo .....	28
3.2 Alcance .....	28
3.3 Normas de Referencia .....	28
3.4 Personal .....	29
3.4.1 Niveles de Calificación .....	29
3.4.1.1 END Nivel I .....	29
3.4.1.2 END Nivel II .....	29
3.5 Materiales a inspeccionar .....	29
3.6 Equipos a utilizar .....	30
3.6.1 Videoscopio Lenox .....	30
3.6.1.1 Cabezal de la cámara .....	30
a) Características técnicas .....	30
b) Partes del Cabezal .....	31
3.6.1.2 Monitor .....	31
a) Características técnicas .....	31
b) Partes del monitor .....	33
3.6.1.3 Carrete portacable de cámara .....	34
a) Características técnicas .....	34
b) Partes del carrete portacable de cámara .....	34
3.6.1.4 MP4 .....	35

a) Características técnicas .....	35
b) Partes del MP4 .....	36
3.7 Procedimiento .....	36
3.8 Elaboración de imágenes patrones de discontinuidades no permitidas por el código AWS D18.1 .....	42
CONCLUSIONES .....	46
BIBLIOGRAFIA.....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Pág.**

### Capítulo 1

Figura 1.1- (a) Lupa, (b) Linterna .....	7
Figura 1.2- Boroscopio .....	8
Figura 1.3 - Fibroscopio .....	9
Figura 1.4 - Videoscopio .....	9
Figura 1.5 - Tipos de fisuras .....	10
Figura 1.6 - Tipos de porosidades .....	11
Figura 1.7. Socavación de raíz .....	11
Figura 1.8. Penetración excesiva .....	12
Figura 1.9. Falta de penetración .....	12
Figura 1.10. Solape .....	13
Figura 1.11. Rechupe de raíz .....	13
Figura 1.12.(a) Alimentación manual, (b) Alimentación automática .....	15
Figura 1.13. Proceso TIG .....	15
Figura 1.14. Esquema de purgado .....	17

### Capítulo 2

Figura 2.1. Máximo desalineamiento .....	19
Figura 2.2. Máxima concavidad exterior .....	20
Figura 2.3. Máxima convexidad exterior .....	20
Figura 2.4. Ancho mínimo de la cara según el espesor de la tubería .....	21
Figura 2.5. Ancho de la cara de la unión soldada .....	21
Figura 2.6. (a) Máxima convexidad interior, (b) Máxima concavidad interior .....	22
Figura 2.7. Oxidación excesiva en una unión soldada .....	22
Figura 2.8. Islas de Óxidos .....	23
Figura 2.9. Tubería cortada .....	23

Figura 2.10. Apuntalado de prototipo .....	24
Figura 2.11. Soldeo sin purga .....	25
Figura 2.12. Preparación para la purga .....	25
Figura 2.13(a) Tapa para ingreso de argón, (b) Otro extremo de la tubería.....	26
Figura 2.14. Soldeo con purga .....	27

### Capítulo 3

Figura 3.1. (a) (b) Cabezal de la cámara.....	30
Figura 3.2. Partes del cabezal de la cámara .....	31
Figura 3.3. Monitor a color .....	32
Figura 3.4. Partes del monitor a color.....	33
Figura 3.5. Carrete portacable de la cámara .....	34
Figura 3.6. Partes del carrete portacable de la cámara .....	34
Figura 3.7. MP4.....	35
Figura 3.8. Partes del MP4.....	36
Figura 3.9. ....	37
Figura 3.10. ....	37
Figura 3.11.(a) (b) .....	38
Figura 3.12. ....	38
Figura 3.13. ....	38
Figura 3.14. ....	39
Figura 3.15. ....	39
Figura 3.16. ....	40
Figura 3.17. ....	40
Figura 3.18. Unión soldada sin discontinuidades.....	42
Figura 3.19. Oxidación en toda la unión soldada.....	42
Figura 3.20. Tramos de la unión soldada oxidada.....	43
Figura 3.21. Tramos de la unión soldada oxidada.....	43
Figura 3.22. Penetración excesiva de la unión soldada.....	44
Figura 3.23. Penetración excesiva de la unión soldada.....	44
Figura 3.24. Falta de penetración de la unión soldada .....	45
Figura 3.25. Falta de penetración de la unión soldada .....	45
Figura 3.26. Porosidad en la unión soldada .....	45

## INTRODUCCIÓN

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama ensayo de líquidos penetrantes.

Sin embargo, con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de los Ensayos No Destructivos (END) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de los END una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de los Ensayos no destructivos. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre los END, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

Hoy en día los ensayos No destructivos permiten la optimización del diseño y uso de recursos, ya que posibilitan el aseguramiento de la calidad del producto final y la

optimización de los procesos de fabricación. Esto trae a su vez una disminución de los coeficientes de seguridad requeridos en el diseño, con una consecuencia económica directa gracias a la reducción de materia prima y horas hombre.

Mediante el uso de los END no sólo se reducen los costos iniciales, sino también los de mantenimiento, ya que su aplicación (muchas veces en operación) permite programar las paradas para mantenimiento. A modo de ejemplo, el monitoreo de la corrosión en cañerías y equipos industriales mediante ultrasonido y otras técnicas, permite predecir con anticipación cuándo se debe realizar una renovación debido a bajo espesor por corrosión generalizada. De esta forma se logra reducir el lucro cesante, ya que no sólo se evitan paradas de emergencia, sino que también se puede programar la renovación de equipos en forma conveniente, disminuyendo los tiempos de parada.

Los Ensayos No Destructivos en el Perú, particularmente en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), brinda servicios a la industria desde 1973, desde el año 2003 cuenta con una acreditación ISO 17025 para la realización de ensayos mecánicos, lo que corrobora la calidad de los servicios realizados en el Laboratorio. Actualmente el Laboratorio de Materiales de la PUCP cuenta con un prestigio ganado a lo largo de su trayectoria y brinda servicios a las más importantes empresas del medio en diferentes áreas, como son:

Inspección en uniones soldadas.

Calificación de procedimientos de soldadura.

Calificación de soldadores.

Análisis de falla.

Caracterización de material.

Realización de ensayos destructivos como son: Tracción, Dureza e Impacto.

Realización de ensayos no destructivos como son: Inspección Visual (VT), Líquidos Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (MT), Radiografía Industrial (RT) y Ultrasonido (UT).

Calificación de personal en END.

Desde el 2008 el Laboratorio de Materiales tiene un convenio con la empresa Backus para realizar la inspección de las ampliaciones en sus plantas distribuidas en todo el Perú. Entre los múltiples servicios que se realizan para esta empresa, la inspección remota asistida por videoscopio es una de las más importantes.

Cuando se realizan juntas soldadas en tuberías de acero inoxidable de espesor delgado hasta 3mm sólo se necesita de un pase para poder tener una junta soldada adecuada, en empresas del rubro alimentario, es muy importante poder supervisar que estas juntas se encuentren bien elaboradas, si bien es cierto mediante la técnica de radiografía industrial se puede corroborar la sanidad de la junta soldada, pero lo que no es posible detectar mediante esta técnica no destructiva es la posible oxidación que puede presentarse cuando no se genera una zona inerte (llena de argón dentro de la tubería) antes de proceder a soldar, este paso muchas veces es omitido ya que cuando se trabajan longitudes de tuberías muy grandes (15 o 20 metros de largo) la cantidad de gas argón a utilizar es muy significativo lo que incrementa los costos de producción.

Si no se realiza el aislamiento adecuado con el gas argón, la oxidación de la junta es inminente, esto es perjudicial para la junta soldada, pues por esa zona comienza a filtrar el fluido, lo cual genera gérmenes siendo esto totalmente inaceptable en cualquier tipo de industria alimentaria, pues si se contamina una producción (para el caso de Backus) estamos hablando de varios miles de litros de cerveza que se tendrían que botar.

Con lo antes expuesto el objetivo general de la tesis es elaborar una metodología para Inspección Visual remota en juntas soldadas de tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm empleando el Videoscopio Lenox modelo PVS, el cual permitiría al personal calificado hacer uso adecuado de este equipo y además apoyarse en las imágenes patrones que se elaborarán en la presente tesis para la identificación de las discontinuidades que se pueden presentar en el interior de una tubería.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Ensayos No Destructivos

Se denomina ensayos no destructivos (END) a los diferentes métodos que permiten evaluar que las condiciones de funcionalidad y confiabilidad de un producto se cumplan dentro de las especificaciones de diseño y estos se realicen sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

Las principales actividades donde se realizan estos ensayos son:

- **Producción:** En este caso el objetivo es la verificación del cumplimiento de las especificaciones de diseño.
- **Mantenimiento:** En este caso el objetivo es verificar que durante el servicio no se presenten cambios que afecten el grado de seguridad requerido.

Las principales aplicaciones de los Ensayos No Destructivos:

- **Defectología:** Sirve para la detección y evaluación de discontinuidades, que de acuerdo a su forma pueden ser planas o volumétricas y por su ubicación pueden ser superficiales o internas.
- **Caracterización de materiales:** Sirve para determinar las propiedades de un material y lograr su adecuada identificación.

- **Metrología:** Sirve como control dimensional (para definir espesores, recubrimientos, etc).

Los ensayos son realizados bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como la American Society Of Mechanical Engineers (ASME), American Petroleum Institute (API) y la American Welding Society (AWS), entre otros.

## 1.2 Clasificación de los ensayos No Destructivos

Los END, más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo al alcance que poseen en cuanto a la detección de discontinuidades, por lo que se dividirán los mismos de acuerdo a los siguientes parámetros:

### 1.2.1 Discontinuidades Superficiales:

- **Inspección Visual:** Este ensayo permite detectar las discontinuidades superficiales, por ejemplo: permite detectar defectos antes de completar una fabricación. Este ensayo es el más importante y el más usado de los ensayos No-destructivos por su versatilidad y su bajo costo
- **Líquidos penetrantes:** Este ensayo permite detectar discontinuidades en materiales sólidos no porosos, siempre que se encuentren abiertas a la superficie. Se aplica tanto a materiales metálicos ferrosos como a no ferrosos, pero su principal campo de aplicación son los materiales no magnéticos (aluminio, cobre, aceros inoxidable austeníticos).
- **Partículas magnéticas:** Este ensayo permite detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales en materiales ferro magnéticos (Hierro, Níquel y casi todos los aceros).

### 1.2.2 Discontinuidades Volumétricas:

- Radiografía Industrial: Este ensayo tiene como objetivo examinar volumétricamente un cuerpo con la finalidad de detectar presencia de discontinuidades internas, como por ejemplo la ausencia de material (cavidades), variaciones de densidad (materiales diferentes). Además, la radiografía industrial permite también detectar variaciones de espesor y presencia de insertos (piezas internas).
- Ultrasonido: Este ensayo se usa principalmente en la detección y localización de discontinuidades internas. Se basa en las propiedades de propagación, reflexión y refracción de vibraciones mecánicas de alta frecuencia (sonido entre 0.25 y 25 MHz.)

## 1.3 Inspección Visual

### 1.3.1 Definición

Consiste en la observación detallada de un material u objeto bajo determinadas condiciones, efectuada a simple vista (ojo desnudo) o con ayuda de instrumental auxiliar que permita mejorar el alcance y percepción del sentido de la vista (lupas, linternas, espejos, boroscopios, videoscopios, etc.)

### 1.3.2 Objetivo

El objetivo de la inspección visual es detectar las discontinuidades abiertas a la superficie antes, durante o después de la fabricación, montaje o instalación de algún elemento o equipo, que no cumplan con lo establecido en las normas o códigos de fabricación. Además, este ensayo es el único que permite medir el tamaño real de la discontinuidad, pues los demás END solo dan indicaciones que luego sirven para dar la conformidad o no del componente, más no da la dimensión real.

### 1.3.3 Clasificación de la Inspección Visual

La Inspección Visual está definida en el Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Pruebas no Destructivas, Artículo 9, de la siguiente forma:

#### 1.3.3. a. Inspección Visual Directa:

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 respecto de la horizontal de la superficie. La iluminación mínima en la superficie a ser examinada debe ser de 1000 lux. El ensayo se realiza a ojo desnudo, pero los espejos podrán usarse para mejorar el ángulo de visión, y los auxiliares tales como las lupas (Figura 1.1.a), linternas pueden ser usados para ayudar en los exámenes. (Figura 1.1.b).



Figura 1.1. (a) Lupa [1], (b) Linterna [2]

#### 1.3.3. b. Inspección Visual Remota

Este tipo de ensayo sirve para inspeccionar elementos en lugares difícilmente accesibles por lo que se apoya en instrumentos de inspección remota como los aparatos ópticos simples y/o de control remoto (espejos, boroscopios, fibroscopios, videoscopios, etc.). Estos sistemas deben tener una capacidad de resolución al menos equivalente a la que se obtiene por observación visual directa.

Los lentes de aumento se consideran como “ayudas o auxiliares”. El uso de un espejo para “mejorar el ángulo” también puede considerarse como una ayuda o auxiliar. La lógica parece ser que cualquier instrumento o herramienta que evite una observación directa, por ejemplo, que el ojo se localice a una distancia mayor de 24 pulgadas (610mm) y a un ángulo menor que 30 grados se considera indirecto o remoto. Además tal como en la inspección visual directa el nivel de iluminación mínima en la superficie a ser examinada debe ser de 1000 lux.

Equipos para la Inspección Visual Remota:

- **Los Boroscopios:** Son en general rectos, de tipo rígido, en gran parte, constituidos por espejos y prismas. La iluminación puede ser suministrada mediante una fuente de luz remota, y transmitida por espejos, prismas y fibras ópticas. (Figura 1.2)



Figura 1.2. Boroscopio [3]

- **Los Fibroscopios:** Son flexibles. La iluminación y la imagen captada en el extremo son transportadas mediante fibras ópticas. Permiten una gran diversidad de movimientos. Como desventajas se puede citar la fragilidad de los canales de fibra óptica, y su sensibilidad a los movimientos de flexión y torsión. Por cada elemento de fibra óptica que se pierde por rotura una porción de la imagen se pierde, y este efecto sumado con el tiempo termina inhabilitando el sistema. (Figura 1.3)



Figura 1.3. Fibroscopio [4]

- **Los Videoscopios:** Los de última generación utilizan la fibra óptica solamente para transportar la luz a los lugares confinados. La adquisición imágenes se realiza por medio de un chip semiconductor CCD, que transforma las imágenes captadas, en señales eléctricas que luego son transformadas por el procesador. Imágenes digitales de muy buena calidad, en formato bmp o jpg, las cuales son muy susceptibles a diversas transformaciones. Hay videoscopios con capacidad de medición, éstos se diferencian con los otros instrumentos de la inspección visual, ya que pueden memorizar, procesar y dimensionar una eventual discontinuidad. (Figura 1.4). El Videoscopio Lenox modelo PVS que se usará en la presente tesis no tiene la capacidad de medición.



Figura 1.4. Videoscopio [5]

#### 1.4 Principales discontinuidades que se presentan en uniones soldadas

- Fisuras: son de forma aguda, ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. Según su forma se clasifican en: (Figura 1.5)
  - ✓ Fisuras Longitudinales: son paralelas al eje de la soldadura.
  - ✓ Fisuras transversales: generalmente son el resultado de esfuerzos debido a contracciones longitudinales actuando en metales de soldadura de baja ductilidad
  - ✓ Fisuras en la raíz: son longitudinales en la raíz de la soldadura o en la superficie de la misma.
  - ✓ Fisuras ramificadas: ocurren cuando el arco es terminado incorrectamente. Son superficiales.

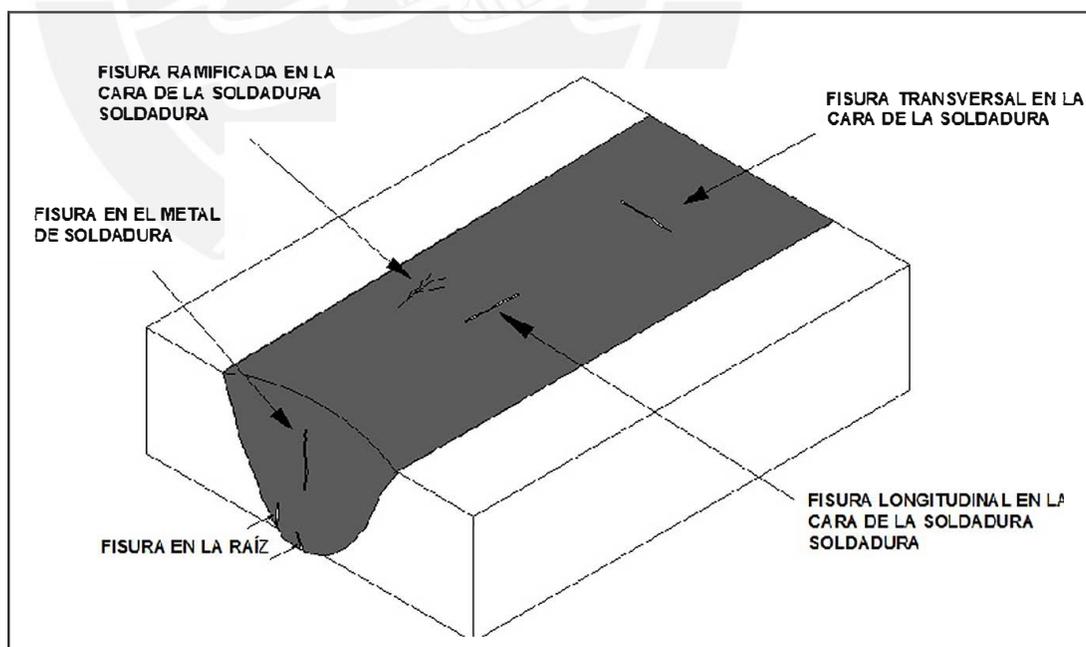


Figura 1.5. Tipos de fisuras

- Porosidades: Son de forma redondeada, discontinuidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. (Figura 1.6)

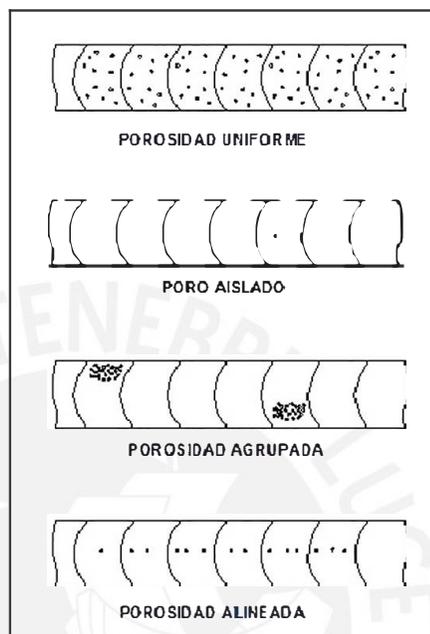


Figura 1.6. Tipos de porosidades

- Socavación: tiene la forma de una hendidura. Se ubica en los bordes de la soldadura. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. (Figura 1.7)

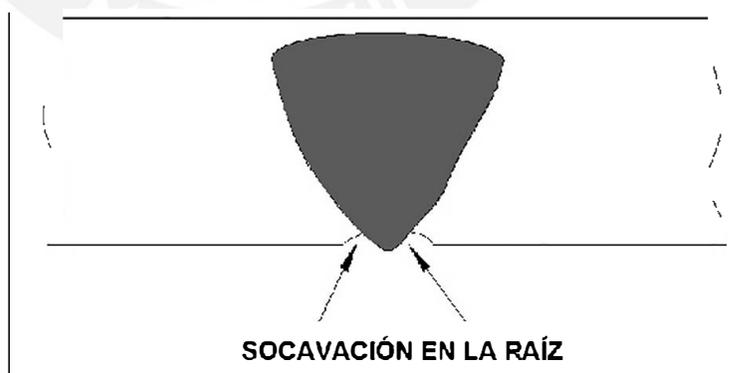


Figura 1.7. Socavación de raíz

- Penetración excesiva: Se da en una soldadura simple de un solo lado (generalmente soldaduras de tuberías), esta discontinuidad representa un

exceso de metal aportado en la raíz del cordón, ocasionando que el metal fundido se descuelgue. (Figura 1.8)



Figura 1.8. Penetración excesiva

- Falta de penetración de raíz: Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como “penetración incompleta”. Las soldaduras en tuberías son especialmente vulnerables a este tipo de discontinuidad, dado que el lado interior es usualmente inaccesible. (Figura 1.9)

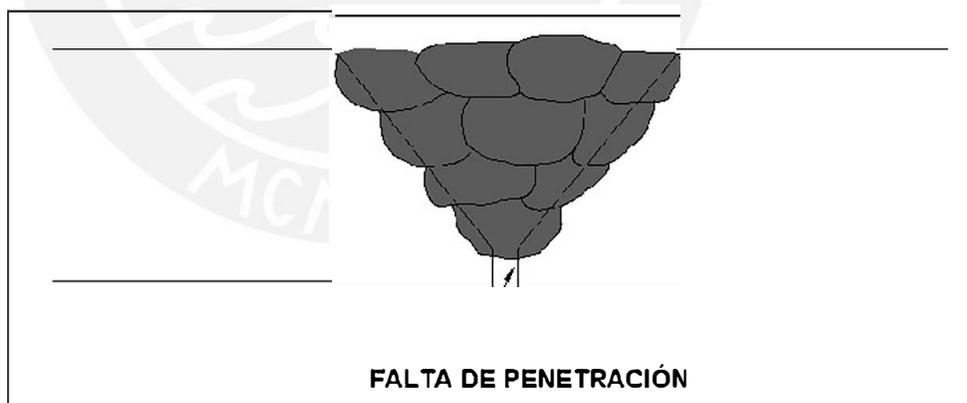


Figura 1.9. Falta de penetración

- Solape: Es la porción del metal de soldadura que está apoyado sobre el metal base sin haberlo fundido, esto produce un falso borde de la soldadura. (Figura 1.10)

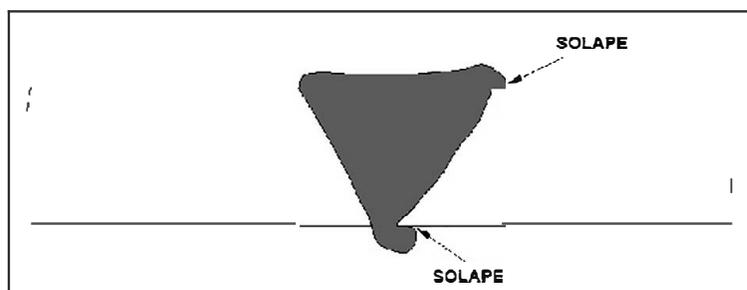


Figura 1.10. Solape

- Rechupe: Es la falta de metal de soldadura resultante de la contracción de la zona fundida. (Figura 1.11)

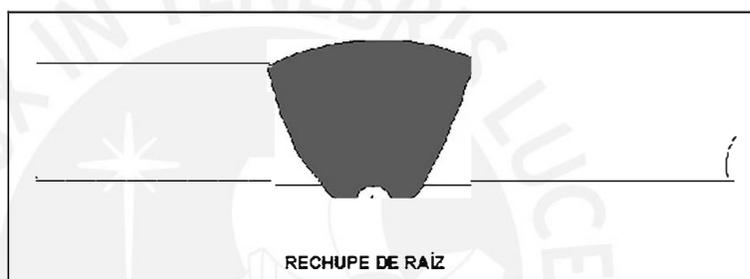


Figura 1.11. Rechupe de raíz

### 1.5 Causas y consecuencias de los defectos

Se presenta un cuadro de las causas y consecuencias de los defectos que se pueden detectar empleando el Videoscopio Lenox modelo PVS.

DEFECTO	CAUSA	CONSECUENCIAS
<b>POROSIDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo insuficiente de fusión.</li> <li>- Demasiado amperaje.</li> <li>- Material base sucio.</li> <li>- Revestimiento húmedo.</li> <li>- Avance rápido.</li> </ul>	Generan disminución del área resistente.
<b>FALTA DE PENETRACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mucha velocidad de avance.</li> <li>- Electrodo muy grueso.</li> <li>- Amperaje muy bajo.</li> <li>- Preparación defectuosa.</li> </ul>	Alto concentrador de tensiones y ocasiona alto riesgo de falla por fatiga, genera pérdida de unión entre material base y material de aporte.
<b>SOCAVACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejo indebido del electrodo.</li> <li>- Empleo de diámetro incorrecto del electrodo.</li> <li>- Amperaje excesivo.</li> </ul>	Generan alta concentración de tensiones

Tabla 1. Causas y consecuencias de defectos

DEFECTO	CAUSA	CONSECUENCIAS
<b>FISURAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrodo inadecuado.</li> <li>- Tamaño desproporcionado de la soldadura respecto al espesor de la pieza.</li> <li>- Soldadura defectuosas.</li> <li>- Preparación defectuosa.</li> <li>- Unión rígida.</li> </ul>	Generan alta concentración de tensiones y pueden propagarse en servicio.
<b>PENETRACIÓN EXCESIVA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisel muy abierto</li> <li>- Corriente de soldar muy alta.</li> <li>- Velocidad muy lenta y ángulo inadecuado del electrodo.</li> <li>- Electrodo de diámetro muy grande.</li> </ul>	Generan alta concentración de tensiones, hasta se podría llegar a fisurar el elemento soldado.
<b>OXIDACIÓN DE LA JUNTA SOLDADA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se realizó el aislamiento adecuado con el gas argón, antes de proceder a soldar la junta en tuberías de acero inoxidable.</li> </ul>	En el caso de industrias alimentarias la producción se contaminaría.

Continuación Tabla 1. Causas y consecuencias de defectos

## 1.6 Procesos de soldeo por arco que utilizan gas de protección

Los principales procesos de soldeo por arco protegidos con gas son:

- Soldeo GTAW
- Soldeo GMAW
- Soldeo PAW
- Soldeo FCAW

En la presente tesis se detallará el proceso GTAW, debido a que es el que se usará para soldar la tubería de acero inoxidable, que se inspeccionará con el Videoscopio Lenox.

### 1.6.1 Proceso GTAW

También llamado TIG, es el procedimiento de soldeo por arco eléctrico protegido con gas inerte y que emplea un electrodo de tungsteno no consumible. El arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, mientras

un gas inerte (por ejemplo, el gas argón) protege el baño de fusión. La alimentación del material de aporte puede ser manual, por medio de varillas (ver figura 1.12.a) o automática (ver figura 1.12.b)



(a) Alimentación manual, (b) Alimentación automática [6]

La figura 1.13 muestra esquemáticamente los principios del proceso TIG con alimentación manual, este es el que se usará para soldar la tubería que se inspeccionará con el Videoscopio Lenox modelo PVS.

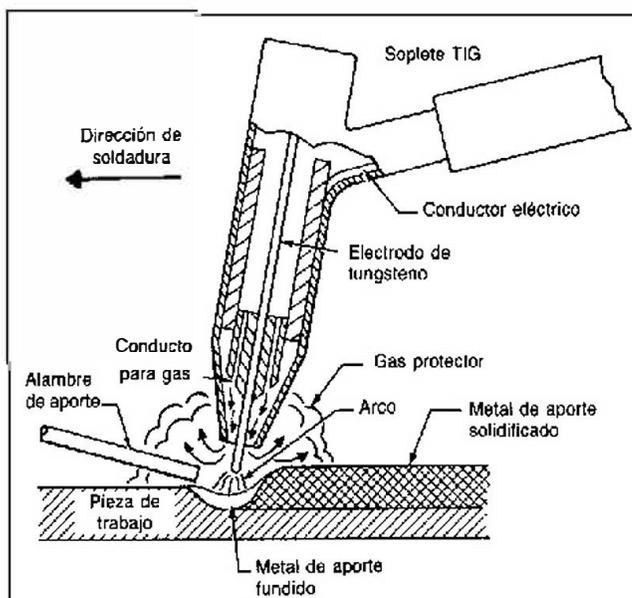


Figura 1.13. Proceso TIG [7]

## 1.6.2 Principales Ventajas y Limitaciones del proceso TIG

### **Ventajas**

- Excelente calidad de unión soldada por su bajo contenido de impurezas y defectos.
- Buen acabado superficial y no requiere limpieza posterior (ausencia de escoria).
- Se puede usar sin material de aporte para bajos espesores.
- Se emplea en todo tipo de posiciones.

### **Limitaciones**

- Baja tasa de deposición de material de aporte (proceso lento).
- Requiere buena habilidad del soldador.
- Existe la posibilidad de presentar inclusiones de tungsteno.
- No es económico para espesores mayores a 10 mm.

#### **1.6.3 Aplicaciones**

El proceso TIG se puede utilizar para el soldeo de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y sus aleaciones. Debido a que el proceso TIG es el que otorga mejor acabado superficial, exentas de defectos, es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y espacial.

#### **1.7 Purgado previo al soldeo**

Antes de empezar a soldar se debe purgar la tubería o la raíz de la unión, retirando todo el aire que esté rodeando a la raíz de la soldadura.

Antes de realizar el purgado se tapanán todas uniones que van a soldarse empleando por ejemplo cinta adhesiva y en los extremos de la tubería se debe emplear cartones rígidos o discos de madera con cinta adhesiva para asegurar una atmósfera protectora sin malgastar el gas de respaldo (ver figura 1.14). Las tapas de cartón deben tener un orificio para que sirvan de entrada y de salida del gas, para evitar que aumente la presión al interior del tubo. Si se utilizan como gas de respaldo al argón o nitrógeno, o mezclas ricas en éstos, la entrada debe situarse en un nivel inferior a la salida ya que estos gases son más densos que el aire, de esta forma se evita que el gas de respaldo salga sin arrastrar el aire existente. La disposición se invertirá en el caso de utilizar gases más ligeros que el aire (helio o hidrógeno). El orificio de salida debe ser mayor o igual al de la entrada para evitar un aumento de la presión interior. Ya cuando se empiece a soldar se va retirando la cinta adhesiva a medida que avance el depósito de la primera pasada.

El purgado es necesario en algunos materiales como el acero inoxidable y en la mayoría de los materiales no ferrosos, para que no se oxide el cordón de soldadura, pero no es preciso para el soldeo de aceros al carbono ni para la mayoría de los aceros de baja aleación.

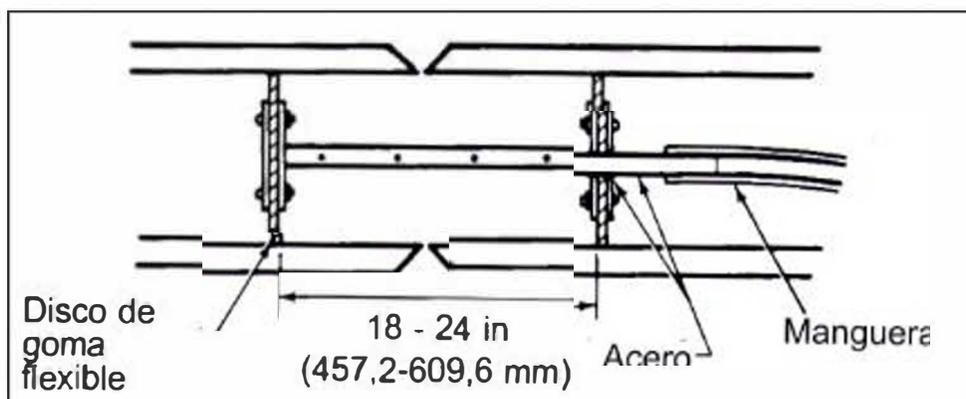


Figura 1.14. Esquema de purgado [8]

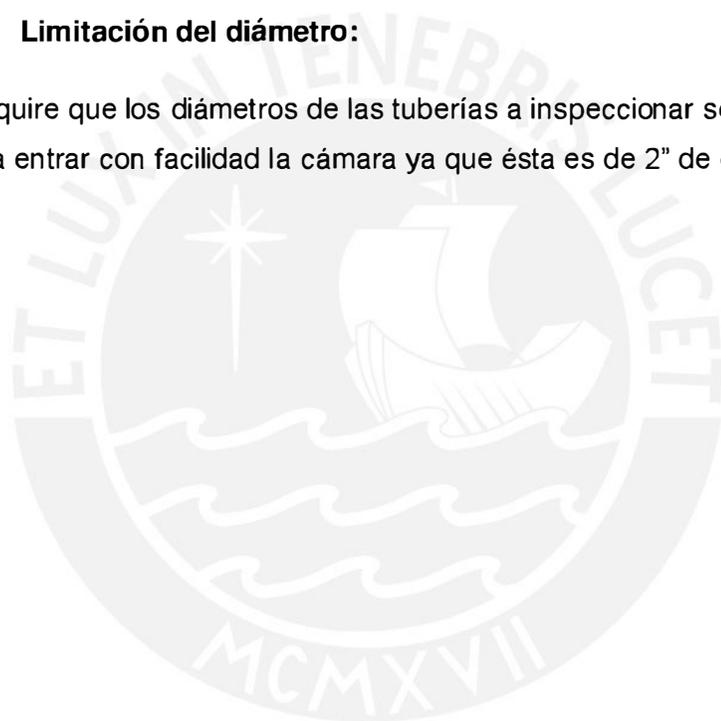
## 1.8 Limitación del espesor y diámetro de las tuberías de acero inoxidable

### 1.8.1 Limitación del espesor:

Al limitar el espesor de la tubería a 3mm se garantiza que para la formación de una junta soldada adecuada en tuberías de acero inoxidable se necesita de un sólo pase, y que para garantizar la sanidad completa de la unión soldada no es suficiente la radiografía industrial ya que no puede detectar la oxidación, pero en cambio la Inspección Visual Remota es el único END que si lo hace. Por el contrario, si el espesor de la tubería sería mayor a 3 mm esto indicaría un número de pases mayor a 1 por lo que para asegurar la sanidad de la unión soldada entre pases necesitaríamos de la radiografía industrial.

### **1.8.2 Limitación del diámetro:**

Se requiere que los diámetros de las tuberías a inspeccionar sean mayores a 4" para que pueda entrar con facilidad la cámara ya que ésta es de 2" de diámetro.



## CAPÍTULO 2

### CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE UNIONES SOLDADAS EN TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE Y PREPARACIÓN DEL PROTOTIPO

#### 2.1 Criterios de aceptación y rechazo de uniones soldadas en tuberías de Acero Inoxidable

##### 2.1.1 Criterios de aceptación y rechazo para toda unión soldada.

- La unión soldada debe presentar penetración completa.
- La unión soldada no debe contener grietas, socavaciones ni inclusiones de escoria.
- El desalineamiento no debe exceder el 10 % del espesor de pared como se muestra en la figura 2.1.

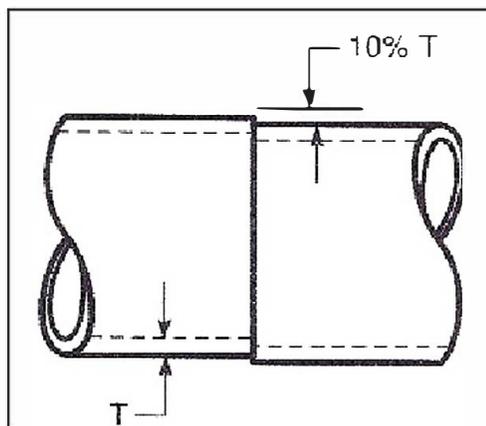


Figura 2.1. Máximo desalineamiento [9]

### 2.1.2 Criterios de aceptación y rechazo para una inspección por el exterior de la unión soldada.

- La máxima concavidad permitida será de 0.006" (0.15 mm), como se muestra en la figura 2.2.

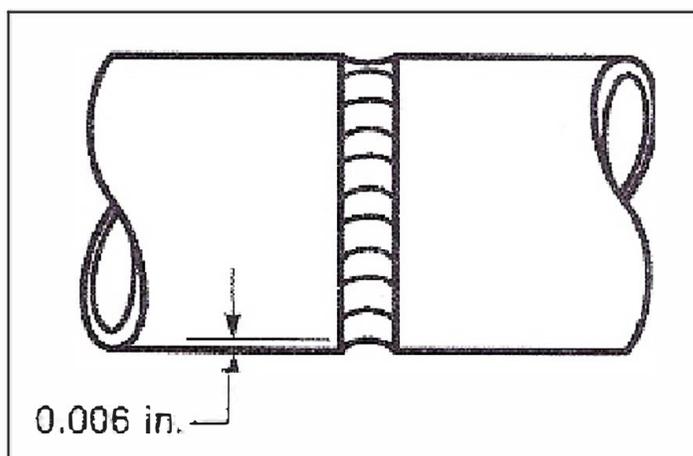


Figura 2.2. Máxima concavidad exterior [10]

- La máxima convexidad permitida será de 0.012" (0.3mm), como se muestra en la figura 2.3.

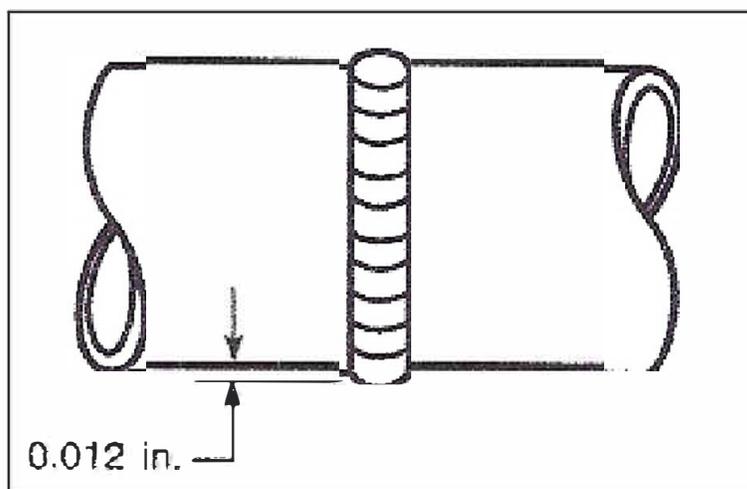


Figura 2.3. Máxima convexidad exterior [11]

- En soldadura manual el ancho de la cara de la unión soldada será como mínimo  $2T$ , siendo  $T$  el espesor de la pared de la tubería, como se muestra en la figura 2.4.

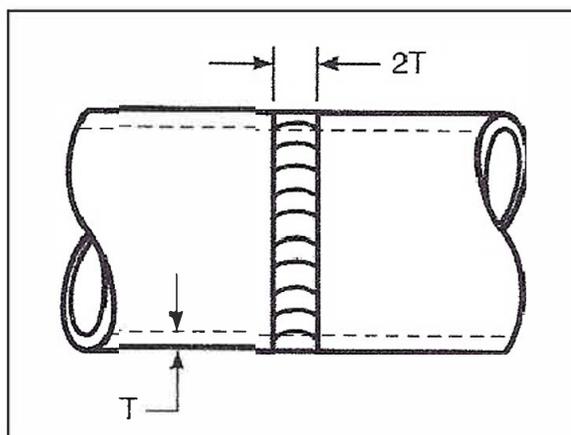


Figura 2.4. Ancho mínimo de la cara según el espesor de la tubería [12]

- El ancho de la cara de la unión soldada debe ser uniforme. El ancho mínimo de la cara debe ser por lo menos el 75 % del ancho máximo, como se muestra en la figura 2.5.

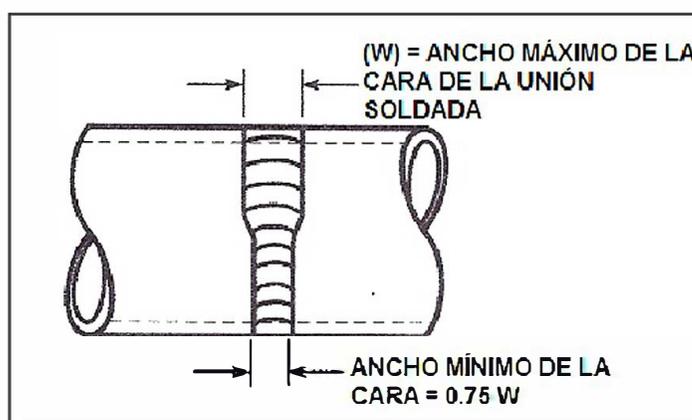


Figura 2.5. Ancho de la cara de la unión soldada [13]

### 2.1.3 Criterios de aceptación y rechazo para una inspección por el interior de la unión soldada

- La máxima convexidad permitida será de  $0.012''$  ( $0.3\text{mm}$ ), como se muestra en la figura 2.6a.

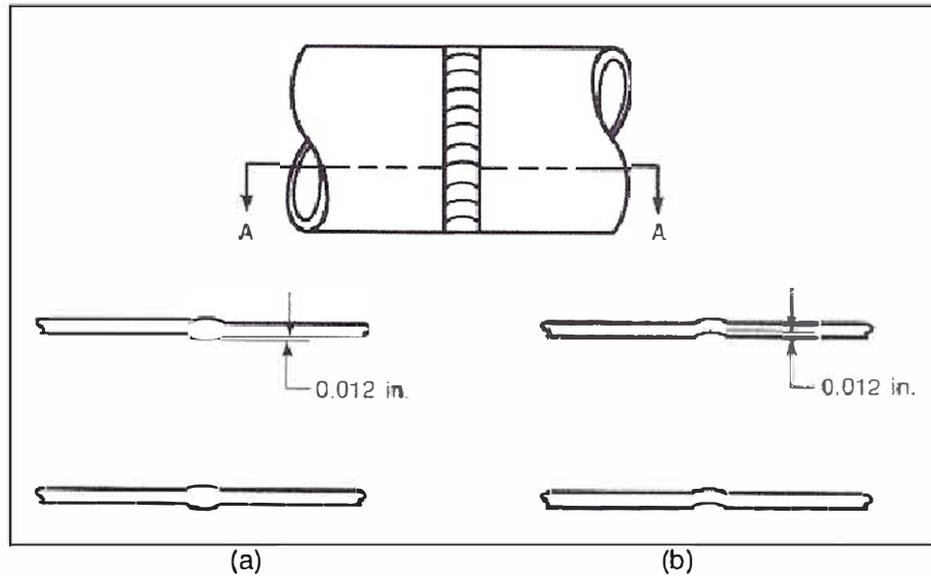


Figura 2.6. (a) Máxima convexidad interior, (b) Máxima concavidad interior [14]

- La máxima concavidad permitida será de 0.012" (0.3 mm), como se muestra en la figura 2.6b.
- La superficie de la unión soldada no deberá presentar una oxidación excesiva. La oxidación se presenta de color azul. Como se muestra en la figura 2.7.

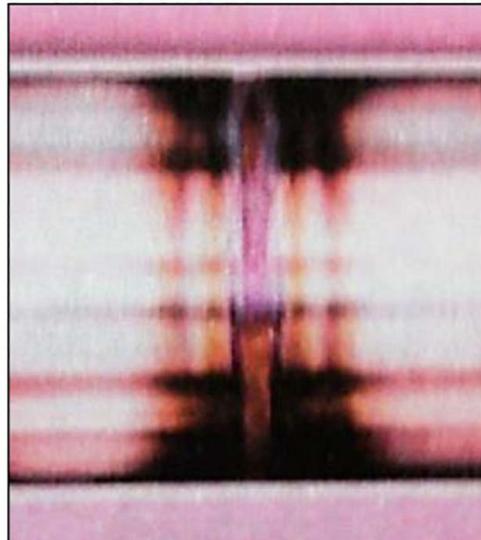


Figura 2.7. Oxidación excesiva en una unión soldada [15]

- Islas de óxidos superiores a 1.6mm de diámetro serán inaceptables, como se muestra en la figura 2.8.

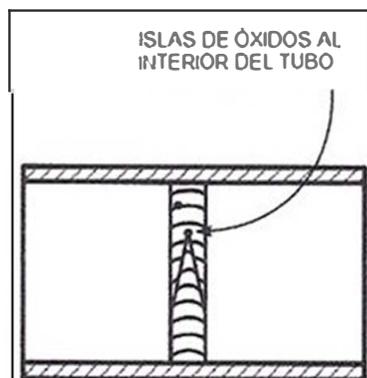


Figura 2.8. Islas de Óxidos [16]

- No más de cuatro islas de óxido pueden estar presentes en la unión soldada.
- Islas de óxidos menores a 0.4mm de diámetro serán permitidos en la unión soldada.

## 2.2 Preparación del prototipo

Para realizar los ensayos de inspección visual mediante el Videoscopio Lenox se tuvo que preparar una tubería de acero Inoxidable de 6" de diámetro con 3mm de espesor. A la tubería de longitud 750 mm se le realizó dos cortes transversales (tales cortes se realizaron en el Taller de Manufactura de la Sección Ingeniería Mecánica), quedando las tuberías listas para ser soldadas, esto se puede observar en la figura 2.9.

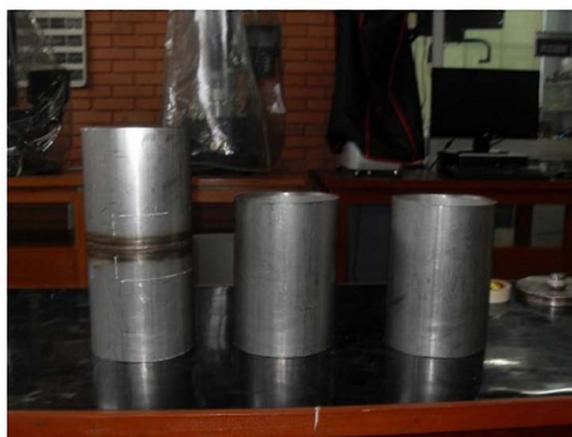


Figura 2.9. Tubería cortada

Se decidió que se suelde una junta sin purga y otro con purga usando gas argón. Ambas fueron soldadas en el Taller de Soldadura de la Sección Ingeniería Mecánica. Antes de soldar se procedió a apuntalar ambas juntas como se observa en la figura 2.10.



Figura 2.10. Apuntalado de prototipo

### 2.2.1 Junta sin purga

Se soldó la primera junta sin purga, para que se oxidara toda la unión soldada y obtener la imagen de la oxidación con el videoscopio Lenox, para tal junta se utilizó lo siguiente:

- Una máquina TIG.
- Balón de gas argón.
- Varilla sólida para el proceso TIG (como material de aporte).

Los parámetros empleados en la ejecución de la unión fueron:

- 56 Amperios.
- 11 Voltios.

- Caudal de gas argón: 25 litros/min.

En la siguiente imagen se puede observar el momento que se está soldando la junta.



Figura 2.11. Soldeo sin purga

### 2.2.2 Junta con purga

Antes de soldar se tuvo que preparar la tubería para que se purgue con gas argón, por lo que se procedió a tapar los extremos de la tubería con las tapas de cartón y cinta masking tape, así como también se encintó la junta a soldar (como se puede observar en la figura 2.12).



Figura 2.12. Preparación para la purga

Luego se procedió a realizar un agujero a cada tapa ya que por un extremo de la tubería ingresaría el gas argón por medio de una manguera y por el otro extremo saldría el gas argón, por medio del agujero, para evitar que aumente la presión al interior del tubo, como se puede observar en las figuras 2.13 (a) y (b).



Figura 2.13. (a) Tapa para ingreso de argón



Figura 2.13. (b) Otro extremo de la tubería

Finalmente se procedió a soldar la junta con purga, para captar con el Videoscopio Lenox modelo PVS los defectos que puedan presentarse al interior de la tubería. Para soldar tal unión se utilizó lo siguiente:

- Una máquina TIG.
- Balón de gas argón (para la protección del cordón de la absorción de gases).
- Varilla sólida para el proceso TIG (como material de aporte).
- 2 tapas de cartón con el diámetro exterior del tubo.
- Cinta masking tape.
- Gas argón para la purga.

Los parámetros con lo que se soldó fueron:

- 46 Amperios.
- 11 Voltios.
- Caudal de gas argón: 25 litros/min

En la siguiente imagen se puede observar el momento que se está soldando la junta.



Figura 2.14. Soldeo con purga



## **CAPÍTULO 3**

### **PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES PATRONES DE DISCONTINUIDADES NO PERMITIDAS POR EL CÓDIGO AWS D18.1**

#### **3.1 OBJETIVO**

El objetivo de este procedimiento es que el inspector calificado conozca todas las características del Videoscopio Lenox y todas las condiciones para hacer una adecuada Inspección Visual remota en juntas soldadas de tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm empleando el equipo, con el fin de identificar las discontinuidades que se pueden presentar en el interior de una tubería.

#### **3.2 ALCANCE**

Inspeccionar las soldaduras al interior de las tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3 mm, para determinar la calidad de las soldaduras de acuerdo al código AWS D18.1.

#### **3.3 NORMAS DE REFERENCIA**

Boiler and Pressure Vessel ASME V - 2015, ASNT- Recommended Practice No. SNT-TC-1A 2016 Standar for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel, AWS D18.1/D18.1M:2009 Specification for welding of austenitic stainless steel tube and pipe systems in sanitary (hygienic) applications.

### **3.4 PERSONAL**

El personal que realizan las operaciones estará debidamente calificado en inspección Visual Remota.

#### **3.4.1 NIVELES DE CALIFICACIÓN**

##### **3.4.1.1 END NIVEL I**

Una persona END Nivel I es calificado para realizar adecuadamente calibraciones específicas, ensayos no destructivos específicos, e interpretaciones específicas, para aceptar o rechazar de acuerdo con instrucciones escritas y registrar los resultados. El END Nivel I debe recibir las instrucciones necesarias y contar la supervisión de una persona END Nivel II o Nivel III.

##### **3.4.1.2 END NIVEL II**

Una persona END Nivel II es calificado para preparar y calibrar los equipos e interpretar y evaluar los resultados con respecto a los códigos, normas y especificaciones aplicables. El END Nivel II debe estar completamente familiarizado con los alcances y limitaciones de los métodos en los cuales fue calificado y debe ejercer funciones de entrenamiento y supervisión en campo del personal que está en entrenamiento y de los Nivel I bajo su responsabilidad. El Nivel II en END está capacitado para preparar instrucciones escritas, organizar, reportar y archivar los resultados de los END.

### **3.5 MATERIALES A INSPECCIONAR**

Se inspeccionarán soldaduras a tope de tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm.

### 3.6 EQUIPOS A UTILIZAR

#### 3.6.1 VIDEOSCOPIO LENOX

##### 3.6.1.1 CABEZAL DE LA CÁMARA: Ver figuras 3.1.(a) y (b).

###### a) Características técnicas

- Distancia focal: 3/4" / 19mm a 30" / 762mm.
- CCD Cámara a color de 3 lux.
- Ángulo de cobertura para imagen: 98° x 75°.
- Iluminación brillante adicional a través de 6 LED's.
- Rango de giro de 180°.
- Rango de rotación de 360° (Mecanismo de giro del rodamiento de bolas).
- Longitud 4" / 99 mm; diámetro 2" / 51 mm; peso 8.5 oz / 240g.
- Carcasa de aluminio que cubre el cabezal es a prueba de salpicadura.
- Cubierta de vidrio resistente a los arañazos, reemplazable.



Figura 3.1.(a) Cabezal de la Cámara



Figura 3.1.(b) Cabezal de la Cámara

###### b) Partes del Cabezal: Ver figura 3.2.

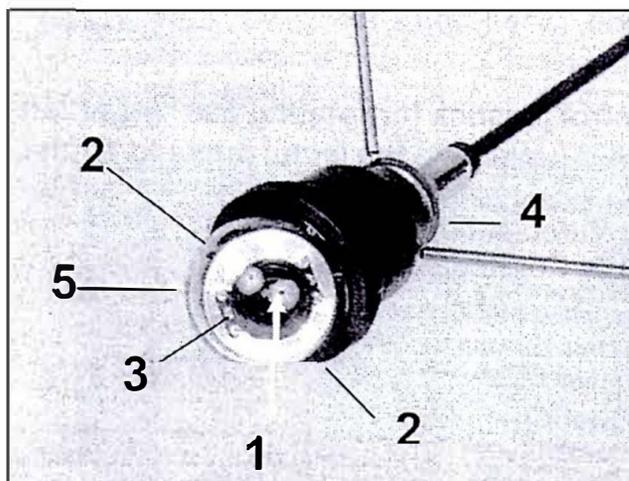


Figura 3.2. Partes del cabezal de la cámara

1. Lente de la cámara.
2. Lámparas halógenas con difusor de luz (4).
3. Luces auxiliares (6).
4. Terminal para el cable de la cámara.

### 3.6.1.2 MONITOR: Ver figura 3.3.

#### a) Características técnicas

- Dimensiones: 6.5"/165 x 165 x 5.1"/130 x 2.3"/58mm.
- TFT LCD monitor: 5.6" diag. (4.5"/117 x 3.5"/87 mm).
- Conexión de video: NTSC estándar (analog) (PAL disponibles).
- Resolución: 960(H) x 234(V) pixeles.
- Peso: 4.3 lbs. /1950g.
- Fuentes de alimentación en general
  - ✓ Batería: NiMH Batería 2700mAh.

- ✓ Tiempo de duración de batería: > 2hrs.
- ✓ Periodo de carga: 6-7hrs.
- ✓ Entrada de energía:
  - Funcionamiento de la batería: máx. 9 watt
  - Operación principal 110 v: máx 8 watt.
- Temperatura de almacenamiento: 14°F/-10°C a 122°F/50°C.
- Temperatura de funcionamiento: 32°F/0°C a 104°F/40°C.



Figura 3.3. Monitor a color

b) Partes del Monitor: ver figura 3.4.

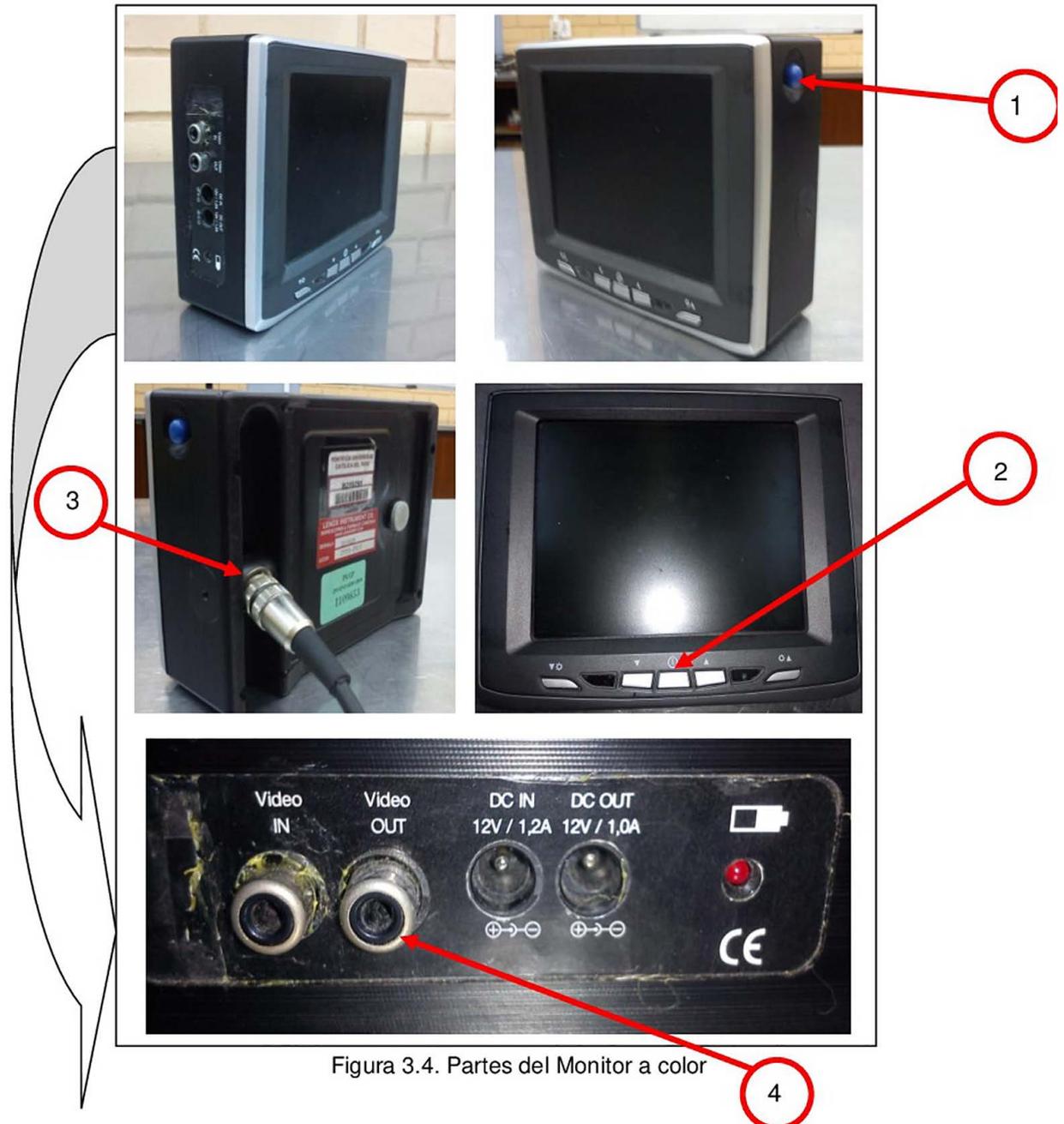


Figura 3.4. Partes del Monitor a color

1. Joystick de la cámara.
2. Botón de encendido / apagado.
3. Terminal de la cámara con el monitor.
4. Terminal de salida de video

### 3.6.1. CARRETE PORTACABLE DE CÁMARA: Ver figura 3.5.

#### a) Características técnicas:

- Es un mecanismo que enrolla 20 metros de cable y que se conecta con el cabezal de la cámara para lograr inspeccionar al interior de las tuberías.



Figura 3.5 Carrete portacable de la cámara

#### b) Partes del carrete portacable de cámara: Ver figura 3.6.

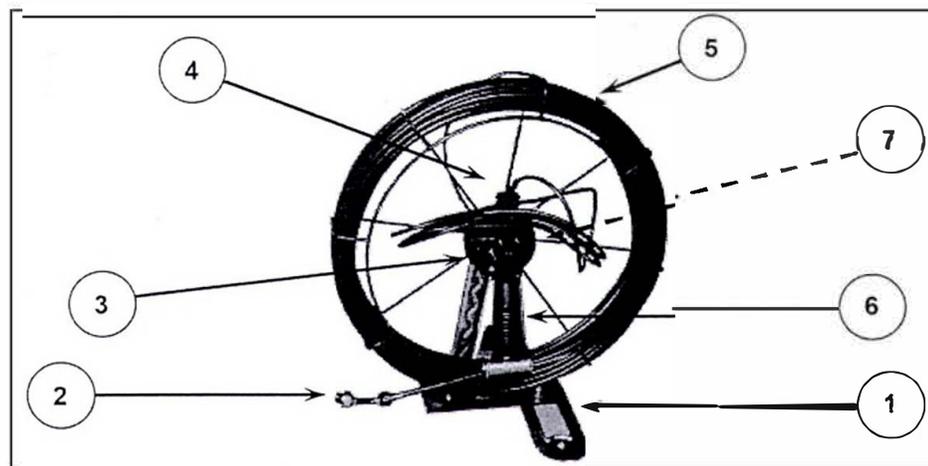


Figura 3.6. Partes del carrete de la cámara

1. Soporte giratorio.
2. Pin conector para cámara.
3. Parte central con medida de distancia (verde) y botón para resetear (rojo)
4. Pin del cable conector de la cámara.
5. Canastilla que almacena el cable de la cámara.
6. Manija (Jalar para operar y empujar para almacenar el cable de la cámara).
7. Tornillo de tensión del carrete en la parte posterior del mango.

**3.6.1.4 MP4:** Ver figura 3.7.

**a) Características técnicas**

- Dimensiones: 6.5"/165 x 165 x 5.1"/130 x 2.3"/58mm.
- TFT LCD monitor: 5.6" diag. (4.5"/117 x 3.5"/87 mm).
- Terminal para USB.



Figura 3.7. Mp4

b) Partes del MP4: Ver figura 3.8.



Figura 3.8. Partes del MP4

1. Joystick de la cámara.
2. Terminal de entrada de video.
3. Terminal de salida de video.

### 3.7 PROCEDIMIENTO

1. Conectar el pin conector para cámara con el terminal para el cable de la cámara (ver figura 3.9).



Figura 3.9

2. Conectar el pin del cable conector de la cámara con el terminal para conexión del cable de la cámara con el monitor (ver figura 3.10).



Figura 3.10

3. Conectar el cable de video al terminal de salida de video del monitor y el otro extremo del cable de video con el terminal de entrada de video del Mp4 (ver figuras 3.11(a) y (b)).



Figura 3.11.(a)



Figura 3.11.(b)

4. Encender el monitor a color, presionar por un segundo el botón ON/OFF. Para el mejor uso del monitor se recomienda que se cargue la unidad antes de usar.
5. Presionar 2 veces el joystick hacia adentro, aparecerá un menú como en la figura 3.12



Figura 3.12

6. Presionar el joystick hacia abajo una vez para ir a la opción **Title**, presionar una vez hacia adentro, aparecerá un menú como en la figura 3.13.



Figura 3.13

7. Para dar un título al video de la inspección que se realizará, por ejemplo: **PR1**, se debe manipular el joystick (para arriba, abajo, izquierda o derecha según sea el caso) hasta llegar a la letra **P** y presionar una vez hacia adentro, con esto se seleccionó la letra **P**, proceder de la misma manera para la letra **R** y el número **1**. Finalmente, para salir del menú presionar el joystick hacia abajo hasta llegar a la opción **Return** y presionar una vez hacia adentro. Con lo hecho anteriormente en la pantalla del monitor aparecerá el título del video como se puede observar en la figura 3.14.



Figura 3.14

8. Coger el cabezal de la cámara e introducirlo en la tubería a inspeccionar, girar el carrete portacable hasta que el cabezal llegue a la unión soldada requerida. Ver figura 3.15.



Figura 3.15

9. Encender el Mp4, al hacerlo aparecerá la pantalla como en la figura 3.16. Manipular el joystick (hacia arriba o abajo según sea el caso) hasta llegar a la opción PVR luego presionar una vez hacia adentro para seleccionarlo.



Figura 3.16

10. Al estar en el menú PVR, manipular una vez el joystick hacia abajo para llegar a la opción REC, para seleccionarlo presionar una vez hacia adentro y una vez más para empezar a grabar.
11. Coger el monitor, manipular el joystick de la cámara girando por los 360° e ir observando en la pantalla LCD del monitor a color el estado de la unión soldada con el fin detectar las discontinuidades que presente. Ver figura 3.17.



Figura 3.17

12. Retirar la cámara del interior de la tubería, girando el carrete portacable.
13. Grabar en una memoria USB los videos de la inspección que se grabó en el Mp4.
14. Desconectar todos los elementos utilizados en la Inspección Visual y guardarlos en su maletín.
15. Observar detenidamente el video en una PC con el fin de detectar las discontinuidades que presente la unión soldada inspeccionada.



### 3.8 ELABORACIÓN DE IMÁGENES PATRONES DE DISCONTINUIDADES NO PERMITIDAS POR EL CÓDIGO AWS D18.1

Antes de presentar las imágenes de discontinuidades identificadas por el Videoscopio Lenox, en la figura 3.18 se puede observar una unión soldada sin discontinuidades.



Figura 3.18. Unión soldada sin discontinuidades

En la figura 3.19 se puede observar la oxidación que se presenta en toda la unión soldada debido a que esta se soldó sin purga de gas argón.



Figura 3.19. Oxidación en toda la unión soldada

En las figuras 3.20 y 3.21 se puede observar pequeños tramos de la unión soldada oxidada, esta debido a que en el momento que se soldó se dejó un pequeño tramo de la junta para soldar sin purga de Argón.



Figura 3.20. Tramos de la unión soldada oxidada



Figura 3.21. Tramos de la unión soldada oxidada

En la figura 3.22 se puede observar la penetración excesiva de la unión soldada por la convexidad excesiva de la misma y en la figura 3.23 se puede observar la penetración excesiva de la unión la unión soldada tanto por el ancho de la cara de la unión soldada como por la convexidad excesiva de la misma.



Figura 3.22. Penetración excesiva de la unión soldada y porosidad



Figura 3.23. Penetración excesiva de la unión soldada

En las figuras 3.24 y 3.25 se puede observar la falta de penetración de la unión soldada, todo lo contrario a las imágenes de la figura 3.22 y figura 3.23.



Figura 3.24. Falta de penetración de la unión soldada



Figura 3.25. Falta de penetración de la unión soldada

En la figura 3.26 se puede observar la porosidad de un tamaño considerable en la unión soldada.



Figura 3.26. Porosidad en la unión soldada

## CONCLUSIONES

1. Se llegó a cumplir con el objetivo general que era elaborar un procedimiento para la inspección visual remota en juntas soldadas de tuberías de acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm empleando el Videoscopio Lenox modelo PVS.
2. Se elaboraron las imágenes patrones de las principales discontinuidades que se pueden presentar en el interior de una tubería de Acero inoxidable mayores a 4" de diámetro y con espesores hasta 3mm haciendo uso del Videoscopio Lenox modelo PVS del Laboratorio de Materiales de la PUCP.
3. Al realizar la preparación del prototipo se verificó la importancia de purgar con argón la junta que se va a soldar ya que sin ella se oxidará toda la unión soldada, algo que la norma AWS D18.1 no acepta.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ EXSA-OERLIKON, 1 995 ] "Manual del soldador" .2da Edición, 1995
- [HERNANDEZ, 2010] "Manual del soldador", 21va Edición, 2010
- [LENOX, 2005] "Portable Video System Manual"
- [1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Lupa>
- [2] <http://www.galileapesca.com.ar/pm/linternas-maglite>
- [3] [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=3336](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3336)
- [4] <http://www.jpsargentina.com/blog/fuerza-aerea-argentina-tecnologia-de-confiabilidad-en-aviones/>
- [5] <http://www.panatec-industria.com/inspeccion-visual-remota.php>
- [6] <http://www.prodermet.com/proceso/tig.htm>
- [7] <http://soldadura.org/2013/08/21/proceso-soldadura-tig-gtaw/>
- [8] [CESOL,1995] CESOL, "Manual del Soldador", 6ta Edición,1995, pág 239.
- [9,10,11,12,13,14,15,16] [AMERICAN WELDING SOCIETY, 1999] "AWS D18.1", pag. 6