

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN PARA CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EMPRESA INENDEC”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**CHRISTIAN MIGUEL VILLACRÉS GUEVARA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO  
CODIRECTOR: ING. PATRICIO QUEZADA**

**Sangolquí, 2009 – 04**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN PARA CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EMPRESA INENDEC” fue realizado en su totalidad por Christian Miguel Villacrés Guevara, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Carlos Naranjo**

---

**Ing. Patricio Quezada**

**Sangolquí, 2009-04-17**

# **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN PARA CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EMPRESA INENDEC”

ELABORADO POR:

---

Christian Miguel Villacrés Guevara

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**Ing. Emilio Tumipamba**  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ING. MECÁNICA**

Sangolquí, 2009 – 04

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mis padres quienes jamás dejarán de ser un apoyo, en todo sentido, en mi vida. Lo dedico también a mis amigos compañeros, con quienes, juntos, hemos caminado y culminado esta larga pero satisfactoria carrera. Por supuesto se lo dedico también a aquellos maestros y personas de la facultad que, a más de compartir útilmente sus conocimientos para mi formación, han sido guía profesional y personal.

**Christian M. Villacrés G.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a:

Mis queridos padres que siempre me apoyan incondicionalmente y que sin ellos esta etapa de la vida no habría sido posible.

La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército (ex FIME) por formarme académicamente y a todos los profesores que ahora conforman la CIME.

A mis directores de tesis, los Ingenieros Carlos Naranjo y Patricio Quezada, por su apoyo y por los años de haber compartido sus conocimientos conmigo.

A todos mis amigos, con los que compartí tantas noches de estudio y desvelo, aquellos que supieron decirme las palabras que necesitaba escuchar para darme ánimo cuando lo necesité y con los que la carrera resultó en un convivir con nuevos hermanos.

**Christian M. Villacrés G.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
Certificación de la elaboración del proyecto	ii
Legalización del proyecto	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice general	vi
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xi
Resumen	xii
Introducción	xiii
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b>	
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Definición del Problema.	1
1.3. Objetivos.	2
1.3.1. Objetivo General.	2
1.3.2. Objetivo Específico.	2
1.4. Alcance.	3
1.5. Justificación e importancia.	4
<b>CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Definiciones.	5
2.2. Influencia del control de calidad en el costo del proceso productivo.	6
2.2.1. Costo del Control de Calidad	7
2.2.2. Beneficio del Control de Calidad	10
2.3. Incidencia de los Ensayos no Destructivos en el control de calidad.	10
2.4. Defectología	11
2.4.1. Criterios del IIW	11
2.4.2. Definición de defectos de acuerdo a las normas en uso.	12

2.5. Clasificación de los ensayos no destructivos	26
2.5.1. Inspección Visual	28
2.5.2. Ultrasonidos.	28
2.5.3. Tintas Penetrantes.	31
2.5.4. Partículas Magnéticas.	33
2.5.5. Radiografía Industrial	37
2.5.6. Otros ensayos.	38

### **CAPITULO 3: ESTUDIO DE NORMAS DE REFERENCIA PARA END EN INSPECCIÓN DE SOLDADURAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS.**

3.1. Estudio del Código ASME V	43
3.1.1. Alcance	43
3.1.2. Recomendaciones de la norma para aplicación de las técnicas de inspección de soldaduras con los métodos RI, US, TP, PM.	44
3.1.2.1. Radiografía Industrial	44
3.1.2.2. Ultrasonidos	46
3.1.2.3. Tintas Penetrantes	47
3.1.2.4. Partículas Magnéticas	47
3.2. Estudio de Norma ANSI-AWS D1.1	48
3.2.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END	50
3.2.2. Radiografía Industrial	52
3.2.3. Ultrasonidos	53
3.2.3.1. Equipos de Ultrasonido	54
3.2.3.2. Procedimientos de inspección	57
3.3. Estudio de Norma AWS D1.3.	64
3.3.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END	64
3.4. Estudio de Norma AWS D1.5.	65
3.4.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en el código, aplicables a END	67

## **CAPITULO 4: ESTUDIO DEL MERCADO Y ORGANIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN CON EL USO DE END**

4.1. Empresas dedicadas a la construcción de estructura metálica	70
4.1.1. Corrimiento de encuesta para potenciales clientes de INENDEC	70
4.1.2. Evaluación de resultados	74
4.2. Evaluación de Información sobre oferentes de servicios	75
4.3. Estudio de precios	76
4.3.1. Precio dado por el mercado interno	76
4.4. Organización administrativa del sistema.	77
4.5. Equipamiento mínimo necesario para END	79
4.6. Personal técnico	80
4.6.1. Calificación del personal	80

## **CAPITULO 5: ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN CON END**

5.1. Elaboración de procedimiento de inspección TIPO	84
5.1.1. Esquema general de un procedimiento escrito	84
5.2. Procedimiento escrito para inspección con Radiografía Industrial RI de juntas soldadas en estructura metálica	86
5.3. Elaboración de procedimiento de inspección con Ultrasonido US	100
5.4. Elaboración de procedimiento de inspección con Tintas Penetrantes TP	108
5.5. Elaboración de procedimiento de inspección con partículas magnéticas PM	114
5.6. Elaboración de procedimiento de inspección mediante inspección visual IV	122

## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ACUERDO CON LA AWS D1.1**

6.1. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo	127
6.2. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Radiografía Industrial RI.	127
6.3. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Ultrasonidos US.	142
6.4. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Tintas Penetrantes TP	150

6.5. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Partículas Magnéticas PM	158
6.6. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Inspección Visual IV	167
6.7. Resultados obtenidos con los ensayos con RI, US, TP, PM e IV.	172
6.8. Evaluación del resultado RI, US, TP, PM e IV.	172

## **CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

7.1. Costos de Producción	173
7.1.1. Costos de Equipos	174
7.1.2. Costo de instalaciones.	174
7.1.3. Costo de capacitación, calificación y certificación de personal técnico.	175
7.2. Costos Administrativos	176
7.2.1. Certificación de equipos y procedimientos.	176
7.2.2. Certificación de la empresa.	176
7.2.3. Remuneraciones Administrativas	177
7.2.2. Establecimiento de la Empresa	178
7.3. TIR y VAN	179
7.4. Beneficios obtenidos al implementar los procedimientos de inspección	181
7.4.1. Reducción de costos de Inspección	181
7.4.2. Aumento de ganancias	182
7.4.3. Reducción de tiempos muertos	183
7.4.4. Beneficio final	183
7.4.5. Otros beneficios	184

## **CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

8.1. Conclusiones	185
8.2. Recomendaciones	186

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>187</b>
---------------------	------------

<b>ANEXOS</b>	<b>189</b>
---------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>ORDEN</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
2.1.	Esquema de un exceso de penetración	12
2.2.	Diversas formas de falta de fusión	13
2.3.	Esquema de una concavidad externa	13
2.4.	Esquema de una concavidad interna	14
2.5.	Varias formas de mordeduras en soldadura	14
2.6.	Esquema de una fisura longitudinal	18
2.7.	Esquema de una fisura transversal	20
2.8.	Esquema de porosidades agrupadas	22
2.9.	Esquema de porosidades alineadas	23
2.10.	Esquemas de porosidades tipo túnel y alargadas	23
2.11.	Esquema de inclusiones de escoria de varios tipos	24
2.12.	Imagen de instrumentos para Inspección Visual	28
2.13.	Esquema de ensayos ultrasónicos	29
2.14.	Imagen de Kit de Líquidos Penetrantes	33
2.15.	Esquema de bobina de magnetización	35
2.16.	Esquema de magnetización con yugo magnético	36
2.17.	Esquema de magnetización por Puntas	36
2.18.	Esquema de magnetización con Conductor Central	37
2.19.	Consola de mando de equipo de Rx Balteau	38
2.20.	Cabezal de equipo de Rx Balteau	38
2.21.	Imagen equipo wavemaker	39
2.22.	Gráfico de resultados arrojados por wavemaker	39
2.23.	Imagen de equipo de análisis de vibraciones	40
2.24.	Imagen de inspección por emisiones acústicas	41
2.25.	Imagen de equipo de corrientes Eddy	42

2.26.	Gráfico de resultados de corrientes Eddy	42
2.27.	Imágenes de termografía en contraste a la natural	42
4.1.	Gráfico de la importancia dada al CC por constructores	71
4.2.	Gráfico de posesión de sistema de CC	72
4.3.	Gráfico de uso de END en el CC	72
4.4.	Gráfico de diversificación de ENDs en los CC	73
4.5.	Organigrama proyectado para INENDEC SA.	78
4.6.	Imagen de uso de equipo de seguridad en campo	79
4.7.	Imagen de equipo de ultrasonido y transductor 70°	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>ORDEN</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
2.1.	Clasificación de Líquidos Penetrantes	32
2.2.	Ventajas y Desventajas de P. Magnéticas vía seca	34
2.3.	Ventajas y Desventajas de P. Magnéticas vía húmeda	35
4.1	Oferta de END's por empresas oferentes	73
4.2.	Listado de precios manejados en INENDEC SA.	76
5.1.	Tiempos de Recaldeo del equipo de Rx Balteau	90
7.1.	Costos fijos de producción anuales	170
7.2.	Costos variables de producción anuales	170
7.3.	Información de capacitación en END	172
7.4	Remuneración al personal administrativo	174
7.5.	Remuneración del personal Técnico	174
7.6.	Flujo de Caja proyectado para Inendec SA.	177
7.7.	TIR y VAN	177
7.8.	Costos de inspección y aplicación de procedimientos	183

## RESÚMEN

En vista de que INENDEC no dispone de un manual formal para la ejecución actividades de inspección de soldadura en estructura metálica con Ensayos No Destructivos es un requerimiento para esta empresa un manual que conste de elementos para sus procedimientos de inspección. Además es requerimiento de esta empresa el estudio de capacitación interna, certificación de equipos, de la empresa.

El desarrollo de este conjunto de procedimientos requirió de ciertos registros y conocimientos previos sobre inspección no destructiva sobre soldadura estructural, basados en la experiencia teórica y práctica que posee el personal con que actualmente cuenta INENDEC SA. Dichos procedimientos se han realizado desde su funcionamiento pero no han seguido procedimientos escritos que satisfagan lo que las normas estipulan y que incluyan datos relevantes del ensayo.

Este manual de inspección con END cumple con los requerimientos de códigos de construcción como ANSI AWS D1.1, D1.5 y su evaluación responde a sus criterios de Aceptación-Rechazo, además sigue como referencia códigos como ASME V y ASTM que regulan el uso de ENDs.

La consecución de este proyecto sirve además para la elaboración de manuales basados en otros códigos de construcción que permitan el uso de estas pruebas como ASME VIII, API 650, ASME B31, y afines, entre otros, que regulan el uso de END para inspección en soldadura.

Alcanzados estos objetivos se asentarán las bases para registrar a INENDEC como una empresa multi-servicios de inspección no destructiva en varios sectores como estructura metálica, tubería, recipientes a presión, maquinaria, etc. servicios, algunos de los cuales ofrece, y de esta forma ampliar y diversificar el mercado.

# INTRODUCCIÓN

## **Capítulo 1 – Generalidades**

Aquí se definen el alcance, la definición del problema que provoca la realización de este trabajo como respuesta, los objetivos General y Específicos y la justificación del presente trabajo, analizando los requerimientos que el mismo tendrá que cumplir para haber alcanzados sus propósitos.

## **Capítulo 2 – Marco Teórico**

Es una breve pero útil revisión de conceptos que serán necesarios como conocimiento previo a las etapas siguientes. Se anotan aquí conceptos aplicados de calidad, fenómenos físicos, químicos, eléctricos, acústicos, etc. en los cuales los principales ENDS de estudio están basados, además se encuentra detallado en la parte de Defectología, una serie de posibles defectos comunes, evidentes con dichos ENDS, en soldadura.

## **Capítulo 3 – Estudio de Normas**

Es una exploración en los distintos códigos de construcción con soldadura, específicamente los códigos ASME V, que se la usa como código comparativo para este trabajo, y los códigos de construcción de estructuras metálicas ANSI – AWS D1.1, D1.3. y D1.5. En esta exploración se anota la estructuración del código y se estudia más detalladamente los capítulos respectivos a los que a inspección se refieren. Se estudia más profundamente los criterios de aceptación y rechazo para cada END que servirán para la evaluación de las pruebas en las etapas a continuación.

## **Capítulo 4 – Estudio de Mercado**

Es un análisis de un breve sondeo en empresas que son o podrían ser clientes de INENDEC SA. Y de empresas que prestan servicios de inspección con END. También se revisan los precios referenciales que se podrían ofrecer por parte de INENDEC SA. Además se incluye los requerimientos de capacitación, calificación y certificación del personal y equipo para la empresa auspiciante.

## **Capítulo 5 - Elaboración de Procedimientos**

En este capítulo se centra la consecución de los diversos manuales de procedimiento para cada ensayo, con una previa descripción de cada punto o ítem de información necesario en el procedimiento, con un modelo de informe/registro donde se detallan los datos más relevantes del ensayo, las indicaciones obtenidas y las firmas del personal responsable, además se indica si la soldadura es rechazada o aceptada respecto a los criterios de aceptación – rechazo estudiados en el Capítulo 3.

## **Capítulo 6 – Resultados de la aplicación del procedimiento**

Con los procedimientos logrados en el capítulo anterior, se realiza, los distintos ensayos escogidos para la evaluación de soldadura en estructura metálica, sobre 2 probetas que han sido soldadas con un procedimiento de soldadura precalificado. Lugo de haber efectuado las pruebas en la forma en que cada procedimiento describe, se registran todas las variables y/o parámetros requeridos en los respectivos informes-registros ya estipulados. Desde estos documentos que llevan la firma del inspector de INENDEC SA. Se realiza la evaluación posible para la soldadura de las probetas.

## **Capítulo 7 – Estudio Económico**

Se ha estimado en esta sección costos de producción, donde se detallan los costos fijos y variables que estos representan. Se incluyen también los costos de los equipos, instalaciones, insumos, etc. necesarios para las pruebas no destructivas, los costos de capacitación, calificación y certificación del personal y de equipos. Con todos estos costos y otros no listados en este resumen se realizó un análisis económico que revela que el establecimiento formal de la empresa INENDEC SA. resulta rentable y conveniente incluso adquiriendo un préstamo en el sistema bancario.

## **Capítulo 8 – Conclusiones y Recomendaciones**

Las conclusiones que arroja este trabajo se resumen en que se ha logrado el objetivo de este proyecto: lograr un manual de procedimientos para la empresa INENDEC SA. el cual produzca resultados que cumplan reproductibilidad y permita que las pruebas se realicen de la manera adecuada, manera que se rijan a los códigos de construcción y referencia.

Las recomendaciones, a más de ayudar a cumplir los requerimientos técnicos, procuran indicar a la empresa auspiciante, y al medio de la construcción, Ingeniería Mecánica y usuarios de soldadura la necesidad que estos tienen de realizar estas pruebas para aumentar seguridad en lo que a uniones soldadas se refiere.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes.

El propósito primario de la inspección no destructiva es la detección de discontinuidades que puedan afectar la vida segura de una estructura o elemento mecánico cualquiera, estos no deben tener discontinuidades que puedan ser la causa para el retiro del componente del servicio y menos aún de su falla.

La prueba no destructiva se ha practicado por muchas décadas, en principio con progresos rápidos en la instrumentación, estimulada por los avances tecnológicos que ocurrieron sobre todo desde la Segunda Guerra Mundial y el esfuerzo subsiguiente de la defensa. En respuesta a ésta necesidad, se han desarrollado técnicas cada vez más sofisticadas.<sup>1</sup>

Los campos de aplicación de los ENDs son muy variados e ideados para evaluar discontinuidades de distintos materiales, de distintas características y distintas ubicaciones y formas de discontinuidades. En este trabajo se realizará un enfoque hacia aquellos ensayos que permitan evaluar la soldadura, y específicamente la aplicada en estructura metálica, es decir aquellos que permitan evidenciar discontinuidades provocadas en el proceso de soldadura.

Se requiere entonces de procedimientos bien definidos que, según códigos, resulten mandatorios y que sean ejecutados por personal calificado en base a los códigos de referencia citados en los códigos de construcción

### 1.2. Definición del Problema.

La empresa en formación INENDEC S.A. ha realizado inspección no destructiva de soldadura en estructura metálica siguiendo procedimientos adecuados pero

---

<sup>1</sup> [www.aendur.ancap.com.uy](http://www.aendur.ancap.com.uy)

no ceñidos a normas y requerimientos de clientes, por lo que en ocasiones es necesario repetir la prueba, corrigiéndola, pero realizando gastos adicionales en tiempo, insumos, etc. Lo que resta eficacia y eficiencia en el trabajo. A esto hay que sumar que la información otorgada al cliente no es completa, internándose en la insatisfacción del mismo.

INENDEC S.A. al encontrarse en un proceso de institucionalización, requiere además un estudio de mercado y un estudio económico previos para establecer la factibilidad de inversiones en equipos de END, capacitación, calificación y certificación del personal y la empresa, etc. que permitan que la misma crezca y diversifique el mercado al que ofrece sus servicios.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Desarrollar una guía práctica, que utilizando las aplicaciones de los Ensayos no Destructivos, permita al lector de este trabajo la cualificación de elementos mecánicos que deban cumplir con características propias de su diseño como son principalmente la homogeneidad y continuidad del material, centrando su estudio en uniones soldadas de elementos estructurales metálicos.

#### **1.3.2. Objetivo Específico.**

- Determinar para cada tipo de ensayo aplicable, los parámetros y valores admisibles, en cuanto a soldadura de estructura metálica se refiere.
- Analizar los aspectos más relevantes en lo que respecta a los distintos tipos de END aplicables en el campo de estructuras metálicas.
- Elaborar los procedimientos de inspección a efectuar en cada tipo de prueba no destructiva en la evaluación de la soldadura de las estructuras metálicas.

- Evaluar los resultados obtenidos de la aplicación de los procedimientos, verificando su apego a normas de referencia, su utilidad y que luego formen parte de un programa de garantía de calidad que pueda ofrecer la empresa.
- Proveer a INENDEC S.A. de un sistema de inspección con END que le permita realizar el control de calidad de soldadura estructural, de una forma estandarizada y organizada, permitiéndole llevar un registro completo de cada actividad necesaria para dicho trabajo, optimizando así tiempo, recursos, uso de personal y tratamiento de información.

#### **1.4. Alcance.**

Este proyecto verá alcanzadas sus metas cuando, habiendo generado un manual con sus procedimientos de inspección no destructiva, se apliquen sobre la soldadura estructural, y dichas acciones den como resultado un proceso idóneo para evaluar y en casos respectivos, reparar una muestra de soldadura.

Este manual de procedimientos estará de acuerdo a lo estipulado en los códigos AWS D1.1, D1.5., ellos indican que los ensayos a realizarse son Inspección Visual, Radiografía Industrial, Ultrasonidos, Tintas Penetrantes y Partículas magnéticas, por lo que este estudio se enfocará a estos ensayos y realizará los procedimientos para cada una de estas pruebas.

#### **1.5. Justificación e importancia.**

En vista de que INENDEC S.A. no dispone de un sistema formal de Control de Calidad en inspección de soldadura estructural con END, es un requerimiento para esta empresa el disponer de este sistema que conste de elementos como procedimientos de inspección, capacitación interna, certificación de equipos, personal y de la empresa.

De esta manera se asentarán las bases para registrar a INENDEC S.A. como una empresa multi-servicios de inspección no destructiva en varios sectores

como estructura metálica, tubería, recipientes a presión, maquinaria, etc. servicios, algunos de los cuales ofrece, pero no de la forma institucional que el volumen de ventas (de servicio) requiere en la actualidad, haciéndola competitiva ante otras empresas que si disponen y aplican este tipo de sistemas.

Es importante generar este manual para aumentar la confiabilidad de la evaluación, obteniendo ensayos sobre las soldaduras en forma metódica, donde se registren los parámetros relevantes de cada uno y con ello se logre la reproducibilidad de dichas pruebas.

Respecto al beneficio que el autor de este trabajo obtendrá, es evidente que el manejo de normas y códigos, el estudio teórico y práctico de Ensayos No Destructivos, etc., será un aporte más detallado y preciso en cuanto a la formación que la universidad otorga, por lo que este proyecto forma parte de un complemento importante en la formación profesional del autor.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Definiciones.

Se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT de *nondestructive testing*) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades: físicas, químicas, mecánicas o dimensionales (incluso magnéticas). Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como: ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se puede resumir en los tres grupos siguientes:

- Defectología. Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales, determinación de tensiones y detección de fugas.
  
- Caracterización. Evaluación de las características: químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales, propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas), transferencia de calor y trazado de isotermas.

- Metrología. Control de espesores, medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento, niveles de llenado.<sup>1</sup>

## **2.2. Influencia del control de calidad en el costo del proceso productivo.**

Se analiza el efecto de la aplicación del control de calidad de la soldadura en estructuras metálicas respecto a los costos del proceso de montaje, los beneficios que se obtienen al implementar dicho control y el ahorro significativo que se genera al hacerlo.

Toda empresa necesita descubrir cuál es el verdadero costo que implica no hacer un trabajo de calidad. Los costos suben para la organización cada vez que se hace lo que no debe hacerse o cuando las cosas se hacen mal. Estos costos incluyen desperdicio, repetición del trabajo, pérdidas de negocios, horas extra innecesarias e insatisfacción con el trabajo. Para ello es importante:

- Reconocer el costo que representa para su empresa el no hacer un trabajo de calidad.
- Discriminar el costo de la calidad en dos categorías: costos necesarios y costos evitables.
- Estimar el costo de la calidad para su trabajo.
- Planear como van a reducirse los costos evitables.

Existe una diferencia en cuanto al momento en que se arregla un problema. La regla 1-10-100 establece que *si no se arregla un problema en el momento en que ocurre, se volverá todavía más costoso de arreglar más tarde, tanto en términos de tiempo como de dinero*<sup>2</sup>:

---

<sup>1</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_no\\_destrutivo](http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destrutivo)

<sup>2</sup> [http://www.wikilearning.com/monografia/cuanto\\_cuesta\\_la\\_calidad-el\\_coste\\_de\\_la\\_calidad/11160-1](http://www.wikilearning.com/monografia/cuanto_cuesta_la_calidad-el_coste_de_la_calidad/11160-1)

1 = Detectar y arreglar problemas en el área de trabajo.

10 = Detectar y arreglar problemas después que han salido de su área de trabajo.

100 = Reparar el daño causado por problemas detectados por clientes externos.

### **2.2.1. Costo del Control de Calidad**

El costo de la calidad consta de dos tipos de costos: los costos necesarios y los costos evitables. Los costos necesarios son precisos para lograr y mantener un nivel definido de trabajo. Los costos evitables ocurren cada vez que se hace lo que no debe hacerse o cuando las cosas se hacen de manera incorrecta. Los costos necesarios incluyen la prevención y la inspección. Los costos evitables incluyen algunos costos de re-inspección (y evaluación) y costo de fallas.

Los costos de prevención son los costos de toda acción destinada a asegurar que las cosas no van a fallar. Los costos de inspección son los costos de averiguar si y cuando las cosas están mal a fin de que se puedan tomar medidas de prevención o corrección. Los costos de fallas son los costos incurridos cuando un cliente está o estará insatisfecho: Se paga entonces el precio de una reputación dañada, del trabajo repetido, desperdicios, sanciones legales, cargos especiales o pérdida de prestigio.

Los costos de calidad forman parte integral del costo de producción, estando presentes en los beneficios que se reflejan en el estado de resultados de una organización, pero no se cuantifican por separado, lo que impide su adecuado control y análisis.

Referido a este tema, tradicionalmente la Contabilidad de Costos se ha ocupado de los *re-procesos* que se realizan en aquellos productos que se alejan de la calidad del diseño para acercarlos a ella (reparaciones por

ejemplo), desarrollando técnicas para el tratamiento de los desperdicios y de la llamada producción defectuosa.

Sin embargo, poner énfasis en la calidad puede constituirse en un apoyo que identifique y elimine las causas de los errores y el reproceso, reduciendo costos y logrando que haya más producción para cumplir con las fechas de entrega.

Se plantea entre los aspectos necesarios para llevar a cabo la evaluación de la calidad, o sea, la revisión del estado de la calidad en todo el proceso, el costo de la baja calidad, dicho de otra forma, aquellos costos en que no se hubiera incurrido si la calidad fuera perfecta, siendo la diferencia entre el costo actual de un producto y el costo reducido que resultaría si no hubiera posibilidad de fallos ni defectos en su elaboración.

Comúnmente se utilizan cuatro categorías para identificar los componentes de los Costos Totales de la Calidad:

- Costos de Prevención
- Costos de Evaluación
- Costos de Fallos Internos
- Costos de Fallos Externos

Los *Costos de Prevención* son definidos como aquellos en que se incurre al intentar reducir o evitar los fallos, o sea, son costos de actividades que tratan de evitar la mala calidad de los productos o servicios (funcionamiento del servicio de inspección de calidad, costos de formación, revisión, mantenimiento preventivo, etc.).

En el caso de los *Costos de Evaluación* se refieren a aquellos que se producen al garantizar la identificación antes de la entrega a los clientes, de los productos o servicios que no cumplen las normas de calidad establecidas (costos de medición, análisis e inspección).

Los *Costos de Prevención y Evaluación* son considerados como los costos de obtención de la calidad, denominándose costos de conformidad y se consideran controlables debido a que la empresa puede decidir sobre su magnitud atendiendo a los objetivos propuestos.

Los *Costos de Fallos Internos* están asociados con defectos, errores o no conformidad del producto o servicio, detectados antes de transferirlo al cliente y que por tanto éste no percibe y no se siente perjudicado (desperdicios, reparaciones, re inspecciones, etc.).

A diferencia de los anteriores costos, los relacionados con *Fallas Externas*, están vinculados con problemas que se encuentran después del montaje de elementos estructurales o luego de brindado el servicio al cliente (costos de garantía, concesiones, devoluciones, etc.). En ambos casos estos costos se identifican como costos de la *no calidad* e incluyen el consumo de factores adicionales y los costos de oportunidad de los mismos.

El análisis de estos tipos de costos indica que si se aumenta el relativo a la obtención de la calidad, se disminuya el costo por concepto de fallos tanto internos como externos.

La actuación de las empresas sobre los costos totales de calidad debe ser eficaz y tendiente a reducirlos tomándose en consideración los aspectos siguientes:

1. Invertir en actividades de prevención y evaluación para conseguir reducir los fallos.
2. Atacar directamente los fallos visibles.
3. Reducir los costos de evaluación conforme la mejora se vaya haciendo efectiva.
4. Buscar una nueva orientación a las actividades de prevención para alcanzar la mejora continuada.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://www.monografias.com/trabajos29/control-calidad-costos/control-calidad-costos.shtml#costos>

### **2.2.2. Beneficio del Control de Calidad**

Suministrar un producto o servicio en el cual su calidad haya sido diseñada, producida y sostenida a un costo económico y que satisfaga por entero al consumidor, es el principal objetivo de efectuar un control de calidad sobre un proceso de producción.

El control total de la calidad es un sistema efectivo de los esfuerzos de varios grupos en una empresa para la integración del desarrollo del mantenimiento y de la superación de la calidad con el fin de hacer posibles: mercadotecnia, ingeniería, fabricación y servicio; a satisfacción total del consumidor y al costo más económico.

Al incluir los costos de control de calidad preventivos dentro del presupuesto de construcción de una estructura, es posible ver como costos de calidad de reparaciones, revisión de procesos, re-inspecciones, etc. se reducen significativamente.

Cuando se ha implementado un sistema de control de calidad en montaje de estructuras metálicas es muy común ver que los tiempos de entrega se cumplen y los retrasos por reparaciones, re inspecciones, e incluso reposiciones se reducen en gran medida en comparación con proyectos que no incluyen ciertos procedimientos de control de calidad.

### **2.3. Incidencia de los Ensayos no Destructivos en el control de calidad.**

Hoy en día no se puede construir y operar una instalación industrial, automotriz, petrolera, aeronáutica, naval, civil, química, etc., sin recurrir al control de la calidad de fabricación y a la inspección de los componentes en operación mediante el uso de los END, no sólo se reducen los costos iniciales, ya que su aplicación (muchas veces en operación) permite programar las paradas para mantenimiento, evitando paradas de emergencia, logrando reducir el lucro cesante, también se puede programar la renovación de equipos en forma conveniente.

De esta forma se puede obtener una operación segura y continua, previniendo además agresiones al medio ambiente. Esto evita accidentes con altos costos materiales, humanos y comerciales.<sup>1</sup>

Además 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.

Los END son una de las herramientas básicas para la evaluación de la integridad de equipos industriales, posibilitando además la extensión de vida de los mismos.

La calidad de los END está directamente relacionada con la calidad de los operadores que brindan el servicio: un ensayo realizado por personal que no está adecuadamente entrenado y calificado no es fiable.

## **2.4. Defectología**

### **2.4.1. Criterios del IIW**

El IIW (Instituto Internacional de Soldadura) es una organización que agrupa varias entidades de distintos países que intentan regular, estandarizar, e incluso unificar los códigos que normen la soldadura, sus procedimientos, consumibles, equipamiento, personal, control de calidad, etc. con la finalidad de asegurar las estructuras soldadas y garantizar la capacidad de unión de la misma.

La Sociedad Americana de Soldadura se encuentra adscrita en el instituto internacional, y por ello, los códigos expedidos por AWS siempre mantienen una estrecha correlación con los códigos equivalentes IIW, con la principal

---

<sup>1</sup> [www.aendur.ancap.com.uy](http://www.aendur.ancap.com.uy)

diferencia que los primeros son de uso regular en el territorio de los Estados Unidos, mientras que los segundos se los utiliza en los países principales participantes en el IIW.

Por lo tanto, Los criterios de aceptación y rechazo dados en las normas AWS resultan equivalentes a los logrados en consensos técnicos del IIW, donde la colaboración de la instancia estadounidense colabora muy estrechamente. Es decir, al cumplir los requerimientos de la norma ANSI-AWS D1.1 y D1.5.

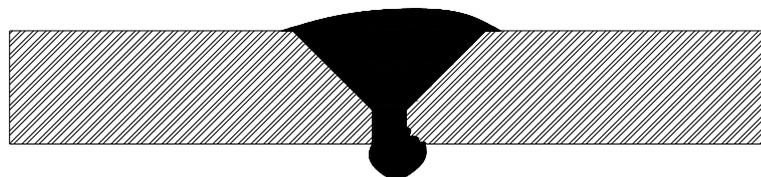
#### **2.4.2. Definición de defectos de acuerdo a las normas en uso.**

##### **Exceso de penetración:**

Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de material la que puede retener escoria en su interior.

Este defecto suele producir, por ejemplo en soldaduras de gasoductos, desgaste por erosión.

La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya se ha extendido a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una marcha deforme negra.

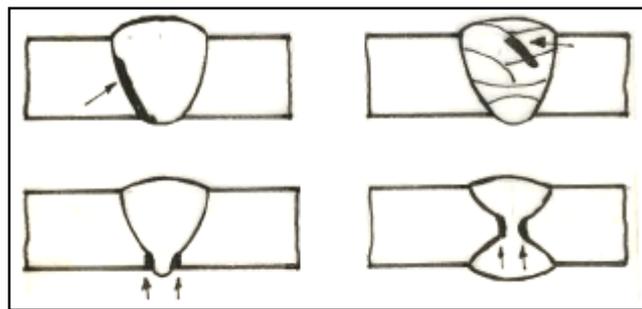


**Fig 2.1. Exceso de Penetración**

##### **Falta de penetración:**

En las uniones en U ó en V la raíz se encuentra en la cara posterior. A menudo la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con el metal, dejando un espacio vacío que aparecerá radiográficamente como una línea

oscura firmemente marcada, continua o intermitente en el cordón de la primera pasada. Esta penetración incompleta puede ser debida a una separación muy pequeña de la raíz, o un electrodo demasiado grueso, a una corriente insuficiente, a la excesiva velocidad de pasada, fusión incorrecta en la ranura, etc. Este tipo de discontinuidad es rechazada de acuerdo a los criterios de la norma de referencia y requerirá la eliminación del cordón de soldadura anterior y repetición del proceso.



**Fig. 2.2.** Diversas formas de falta de fusión en soldadura

### **Concavidades**

#### **Concavidad externa o falta de relleno:**

Es una soldadura que tiene una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el cordón.

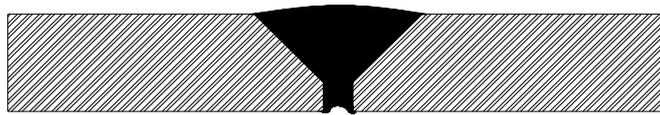
La imagen radiográfica muestra una densidad de soldadura más oscura que la densidad de las piezas base, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen.



**Fig 2.3.** Concavidad externa

### **Concavidad interna:**

Es el insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada, el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.



**Fig 2.4.** Concavidad interna

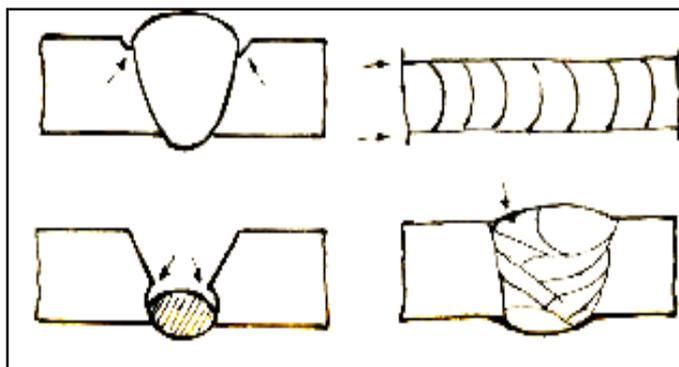
### **Socavaduras o mordeduras de bordes:**

La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobremonta, que no ha sido llenada por el material.

Son debidas a un arco incorrecto (por la corriente utilizada por la longitud del mismo), se produce extracciones de materiales en la superficie del elemento a soldar la cual puede ser anterior (del lado de la sobremonta) o posterior (lado de la raíz o primera pasada).

Un electrodo húmedo puede provocar socavado. Otra causa de socavado en los laterales del cordón es una alta velocidad de traslación del arco a causa de una rápida solidificación del metal de soldadura.

La imagen radiográfica muestra una línea oscura que bordea el cordón soldado, de densidad homogénea (lado exterior) o una imagen circundante al corazón de la primera pasada no muy negra (lado interior).



**Fig. 2.5.** Varias formas de mordeduras en soldadura

### **Quemón:**

Es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplandose.

Resulta de factores que producen un calor excesivo en un área determinada tales como excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto electrodo, etcétera. Hay destrucción completa de biseles.

La imagen radiográfica muestra una densidad localizada más oscura con bordes borrosos en el centro del ancho de la imagen. Puede ser más ancha que la imagen del cordón de raíz.

En la totalidad de ellos, se exige la reparación inmediata con inspección visual.

### **Salpicaduras:**

Son imperfecciones consistentes, como su nombre lo indica, en esférulas de metal fundido, depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Generalmente, no tiene importancia respecto a la calidad de la soldadura.

En la imagen radiográfica, aparecen manchitas blancas, redondeadas, aisladas o en colonias. En algunas técnicas de soldadura que emplean electrodos de tungsteno (wolframio), las salpicaduras de este metal se dibujan como circuitos muy claros. Entonces, conviene asegurarse de que se trata, efectivamente, de salpicaduras y no de inclusiones.

**Falta de continuidad del cordón:**

Se originan al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que en otras ocasiones, son simplemente surcos normales al eje del cordón.

Su aspecto radiográfico es el de una línea oscura oblicua, relativamente nítida.

**Erosiones y huellas:**

Son un grupo de defectos que tienen un origen mecánico de erosión, deformación o arranque de material. Pueden dividirse en:

**Exceso de rebajado:**

Producido durante el mecanizado amolado excesivo del cordón, en consecuencia este queda ligeramente cóncavo.

La apariencia radiográfica se muestra como áreas ligeramente más oscuras que el campo adyacente, contornos difusos, difíciles de percibir y que siguen la trayectoria del cordón

**Huellas de amolado:**

Surcos en la superficie del metal vacío del cordón, marcados por la muela, mal manejados.

Radiográficamente aparecen como sombras ligeramente oscuras, rectilíneas y paralelas.

**Huellas de mecanizado:**

Erosiones producidas por herramientas que preparan la soldadura o por un imperfecto mecanizado de la misma.

La radiografía las muestra como líneas ligeramente oscuras, dibujadas nítidamente y paralelas.

**Martillazos, golpes en General:**

Son deformaciones locales producidas por choques de objetos contra el metal base o contra el cordón.

Radiográficamente los martillazos se señalan como arcos ligeramente oscuros, con un borde bien marcado, más denso, a partir del cual se difumina la mancha; los granetazos como puntos, a manera de poros, oscuros, etc.

### **Restos de electrodos:**

Cuando se suelda con equipos automáticos en atmósfera inerte y electrodo continuo, pueden quedar, al efectuar el cordón de penetración, los restos de alambre electrodo que sobresalen, a veces, varios centímetros de la base de la unión soldada.

En la radiografía, aparecen unos palitos claros que parten del eje del cordón. También pueden aparecer restos de electrodos que han sido abandonados. Por ejemplo, del interior de una tubería. En este caso sólo es un material superpuesto, fácilmente eliminado por no ser solidario con la unión.

### **Discontinuidades Internas**

#### **Fisuras:**

Pueden ser clasificadas en:

#### **Fisuras longitudinales:**

Se pueden producir en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interface del material básico del aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de correcto precalentamiento en grandes espesores).

Cuando este defecto aparece en el metal de la socavadura se le llama fisura de solidificación, mientras si se produce en la ZAC se llama fisura de licuación (inter-granular).

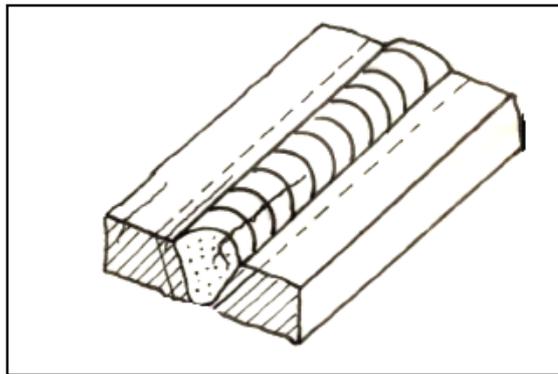
Estos dos tipos comprenden la llamada fisuración en caliente y se producen por la combinación de una composición química desfavorable (elementos que

forman precipitados de bajo punto de fusión, por ejemplo el que se forma en SFe (solidificación de bordes de grano) y tensiones de solidificación, restricción o de formación. En este caso el precalentamiento no tiene casi influencia sobre estos defectos.

La única precaución posible es la de soldar con bajo aporte térmico. Son bastante raras y típicas de ciertos aceros inoxidables estabilizados como el AISI 321 y ciertos aceros bonificados como el HY 80.

La fisuración en frío (de hidrógeno) longitudinal es menos frecuente que la transversal.

La imagen radiográfica es una línea ondulante muy negra y fina en el centro del cordón o en la base del mismo (similar al espesor de un cabello).



**Fig. 2.6.** Fisura longitudinal

#### **Fisuras transversales:**

Producidas principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal produce una fisura que puede o no prolongarse a través del metal base. Pueden ser:

#### **Fisuras en caliente**

Denominándose así porque se producen durante la solidificación de la junta.

Las causas principales de este efecto en aceros al carbón no aliados o de baja aleación son:

- Medio y alto tenor de carbono del metal base
- Alto tenor de impurezas S y P en el metal base

- Elevadas tensiones de contracción (depende de la mayor o menor plasticidad del metal de la junta).

Las fisuras en caliente se pueden manifestar en todos los materiales metálicos, ferrosos y no ferrosos. Son inter-granulares y pueden tener orientaciones diversas.

### **Fisuras en frío:**

Se llaman así porque se forman cuando la temperatura se acerca o alcanza la temperatura ambiente.

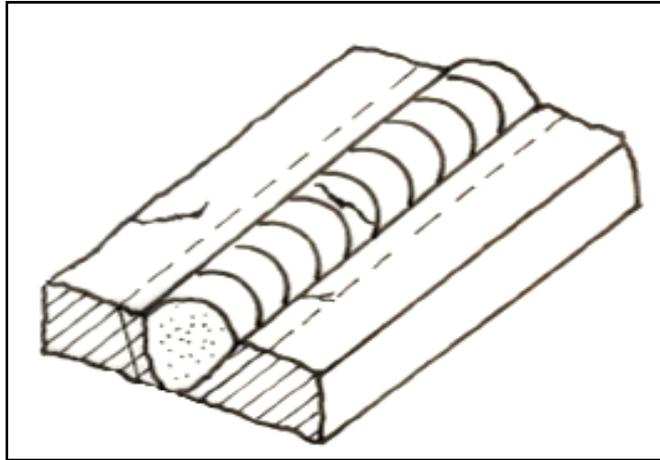
La causa principal es el elevado tenor de hidrógeno en una zona fundida, una elevada velocidad enfriamiento y las tensiones producidas sobre el cordón por el enfriamiento. En soldadura de aceros dulces con baja aleación de manganeso y micro aleados, las fisuras son muy pequeñas (llamadas micro fisuras de hidrógeno) y frecuentemente se reagruparon en un cierto número en la misma zona fundida de la junta; en aceros de elevada resistencia como los bonificados, las fisuras generalmente más grandes, pudiendo atravesar todo el cordón en dirección transversal.

Se ha reservado radiográficamente como una línea fina muy negra y recortada, de poca ondulación y transversal al cordón soldado.

### **Fisura de interrupción o arranque (o de cráter):**

En el arranque de la soldadura por cambio de electrodo suelen producirse fisuras en forma de estrellas por efecto del brusco enfriamiento el recalentamiento del material (son fisuras en caliente). Cuando se interrumpe el arco, se formará un cráter de contracción, si la cavidad del arco no se rellena con una cantidad de material difundido adecuada. Los cráteres de arco son frecuentemente los puntos defectuosos en las soldaduras en razón a que el último material que se solidifica lo hace a tenciones muy elevadas, pudiéndose producir segregación.

Generalmente, se observan radiografía, como tres líneas finas confluyentes y la del sentido del cordón soldado mucho más larga.



**Fig. 2.7.** Fisura transversal

### **Fisuras alrededor del cordón (en ZAC)**

#### **Fisuración en frío:**

Se produce debido a la falta de precalentamiento (crítica para ciertos tipos de acero) en aceros duros (estructuras Martensíticas en ZAC como resultado del ciclo técnico de soldadura) o de mucho espesor. Estas fisuras se presentan invariablemente en los granos más gruesos de la zona afectada por el calor (ZAC) del acero. Esto se atribuye al efecto del hidrógeno disuelto liberado por el electrodo (por ejemplo húmedo) o por el metal que se solidifica, por lo que puede evitarse por precalentamiento y manteniendo el material soldado alrededor de unos 200° centígrados un tiempo determinado o por el uso de electrodos básicos. También a dictar las tensiones alcanzadas como resultado de la contracción de la junta o geometrías con entallas.

Tienen generalmente una dirección longitudinal, aunque algunas veces pueden también se transversales; pueden ser internas (estar bajo el cordón de soldadura) o aflorar al lado del cordón.

La imagen radiográfica es de líneas negras de poca ondulación un poco más gruesas que un cabello en la zona adyacente al cordón soldado.

### **Desgarro laminar:**

Son fisuras que pueden aparecer en aceros dulces y baja aleación, generalmente asociadas con soldaduras muy tensionadas, cuya geometría produce tensiones perpendiculares al plano de laminación sobre el metal base. Apareció frecuentemente debajo de la ZAC (material base no afectada) y son típicas de las juntas de T o en L. Los factores que produce este efecto son sustancialmente:

- Tensiones de enfriamiento más o menos intensas, en función de la rigidez de la estructura.
- Geometría de la junta tal que la sollicitación actual desfavorablemente sobre el material base.

### **Inclusiones:**

Se consideran inclusiones, las impurezas producidas por gases atrapados en la masa del metal durante el proceso de fusión, o materiales extraños sólidos (metálicos y no metálicos).

Por razones diversas, en el metal de soldadura fundido se pueden formar gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura. Y es así atrapado, por lo General, tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidad esféricas, o de forma alargada llamados porosidad tubular o vermicular.

La formación de estas inclusiones puede ser causada por reacciones químicas durante la soldadura con alto contenido de sulfuro en la plancha y/o en el electrodo; humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha de base; arco excesivamente corto; corriente incorrecta o polaridad inversa; corrientes de aire; o limpieza prematura de la escoria al terminar una pasada, pues, no hay que olvidar que la escoria que evite el enfriamiento demasiado rápido del metal fundido.

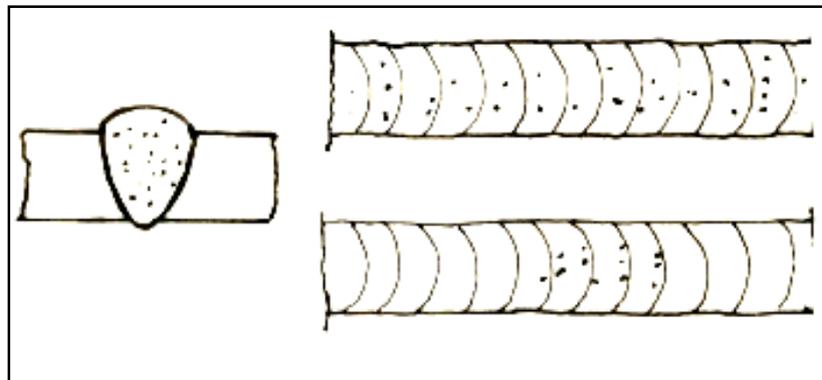
La porosidad gaseosa puede producirse en forma aislada (porosidad esférica aislada) o agrupada (nido de poros), en forma alineada, etc. Se verán estos casos a continuación:

**Porosidad esférica aislada:**

Son bolsas esféricas producidas por una alteración en el arco, la oxidación en el revestimiento de electrodo, o el electrodo húmedo y/u oxidado, o una variación en la relación voltaje-amperaje-velocidad en la soldadura automática.

**Porosidad agrupada (nido de poros):**

Producida generalmente por un agente oxidante o excesiva humedad del revestimiento. Pueden también encontrarse capas de óxido sobre los biselés, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de estos poros es aproximadamente igual en toda la zona. La imagen radiográfica: redondeados o ligeramente alargados de una densidad más oscura, agrupados pero irregularmente espaciados.



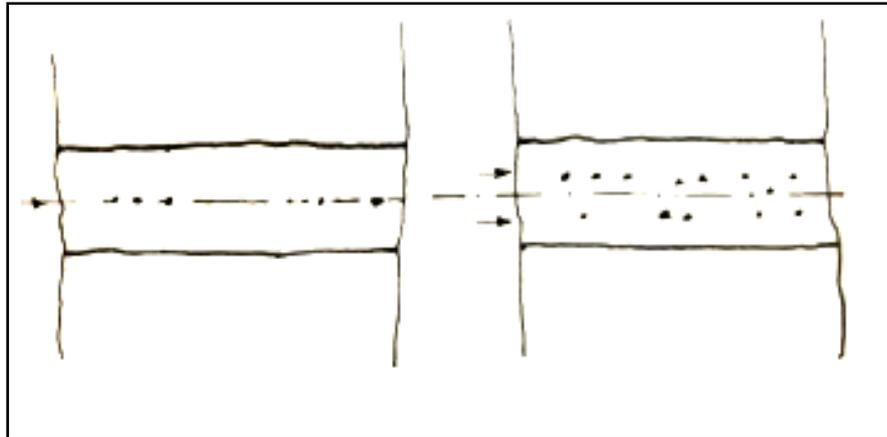
**Fig. 2.8.** Porosidades Agrupadas

**Porosidad alineada:**

Generalmente surge en la pasada de base del cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo, por mala regulación eléctrica en correspondencia con el candente utilizado para máquinas automáticas y por acumulación de algunos de los elementos del mismo.

Radiográficamente se observan círculos alineados, negros, que pueden ir decreciendo o permanecer de igual diámetro. También pueden aparecer poros

alargados de primera pasada “cordón hueco”: surgidos por el hidrógeno producido en electrodos de alta velocidad, generalmente por insuficiente separación de los biseles.



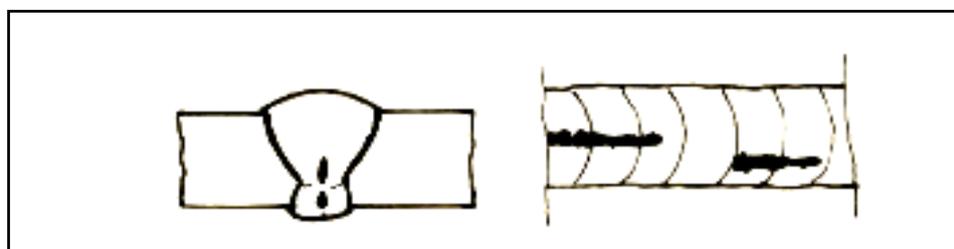
**Fig. 2.9.** Porosidades alineadas

**Porosidad alargada o vermicular:**

Producida al enfriarse el material, a medida que una burbuja de gas está tratando de escapar. Su morfología es alargada, a manera de tubitos curvados, como bastones o sinuosidades, y suele tener tendencia a crear un recorrido vertical pudiendo llegar a dejar perforada toda una pasada de soldadura.

Aunque ocasionalmente pueden aparecer aislados, no corrientes que formen colonias. Este caso es común en aceros con contenidos especiales, principalmente inoxidables.

Generalmente son más peligrosos que los esféricos debido al efecto de entalla que producen. La imagen radiográfica es de marcas alargadas, de color gris y generalmente terminado en círculo.



**Fig. 2.10.** Porosidades tipo túnel y alargadas

### **Inclusiones no metálicas**

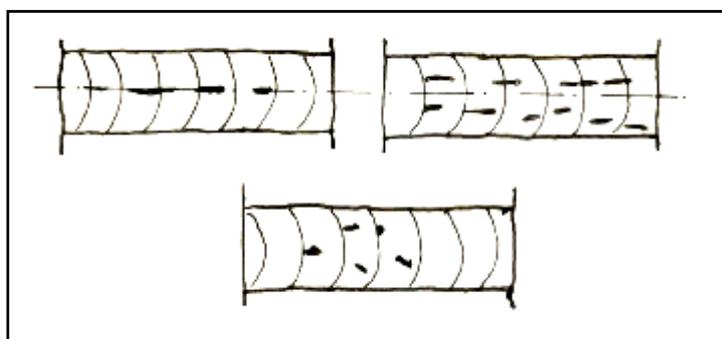
#### **Inclusiones de escorias aisladas:**

La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Son depósitos de carbón un óxido metálicos y silicatos principalmente.

La escoria puede provenir del revestimiento del electrodo o fundente empleado. El flujo tiene como finalidad eliminar las impurezas del metal. Si éste no permanece derretido durante un periodo suficientemente largo para permitir que la Escoria se eleve a la superficie, parte de esa escoria pudiera quedar atrapada dentro del metal. Esta puede a su vez quedar atrapada en el metal en pasadas posteriores. Las superficies sucias e irregulares, las ondulaciones o cortes insuficientes contribuirán al atrapado de escoria.

Las inclusiones de escoria se asocian frecuentemente con falta de penetración, fusión deficiente, talón de raíz excesivamente grande, soldadura en V muy estrecha y manipulación defectuosa del electrodo.

La imagen radiográfica muestra manchas negras irregulares sobre el cordón de soldadura.



**Fig. 2.11.** Inclusiones de escoria de varios tipos

**Escorias alineadas:**

Producidas por inadecuados movimientos del electrodo por parte del soldador, quedan alineadas sobre el costado del cordón soldado. En el caso de la soldadura automática, el fundente suele quedar atrapado por una regulación de la maquina, o por falta de limpieza, pero en este caso estará en el centro del cordón. Este tipo de defecto es muy agresivo.

La imagen radiográfica muestra sobre uno de los laterales del cordón base una línea ancha con un borde casi recto y el otro desparejo, color negro, pero densidad homogénea. Para el caso de soldadura automática, se observará en el centro del cordón un triángulo alargado en el sentido de giro, de color negro.

**Línea de escorias (Wagon tracks):**

Ubicadas entre el cordón de la primera y la segunda pasada. Por efecto de la mala limpieza en la zona de mordeduras que se forman sobre el bisel al efectuar la primera pasada, se depositan escorias ambos lados de este cordón. La imagen radiográfica muestra líneas paralelas interrumpidas de ancho variable, pero bastante parejas.

**Escorias en el interior de perforaciones:**

Dentro del metal soldado por efecto de una perforación, se suele producir un rechupe del material, incorporándose materiales extraños, proveniente por lo General del revestimiento del electrodo.

La imagen radiográfica muestra una mancha irregular negra, en el centro de la indicación clara de una perforación, semejando un anillo luminoso.

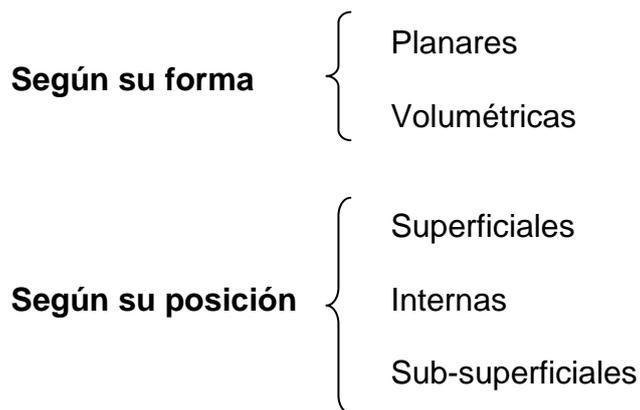
### **Inclusiones aisladas:**

Por efecto o combinación química de los elementos que intervienen en la soldadura, se suelen no fundir partículas de tungsteno que quedan aisladas en distintas áreas del cordón soldado (TIG), generalmente en acero inoxidable. La imagen radiográfica muestra puntos de forma muy irregular y de una densidad más baja (muy claras), distribuidos aleatoriamente en la imagen de la soldadura.

## **2.5. Clasificación de los ensayos no destructivos**

Los END son la aplicación práctica del conocimiento técnico científico logrados en el campo de la física y de las demás ciencias naturales, para la detección y evaluación de discontinuidades y fallas de los materiales, pero también se puede llegar a estudiar la composición y las variaciones mismas de la estructura de los materiales usados en ingeniería.

Los END se pueden clasificar, por las discontinuidades a detectar de la siguiente manera:



Los END pueden ser agrupados en función del campo de energía o medio de prueba utilizada de la siguiente manera:

### **a) Métodos basados en la aplicación de Radiaciones Penetrantes**

- Radiografía (Rayos X)
- Xerografía

- Gammagrafía (Rayos Gamma)
- Neurografía

**b) Métodos basados en vibraciones mecánicas:**

- Ultrasonido
- Emisión acústica
- Análisis de vibraciones

**c) Métodos basados en electricidad y magnetismo**

- Partículas magnetizables
- Corrientes parásitas de Eddy
- Ensayos Eléctricos
- Magnetoscopia

**d) Métodos Ópticos**

- Examen visual (lentes, espejos, endoscopios)
- Transmisión de imágenes
- Réplicas

**e) Métodos basados en energía térmica**

- Termografía (lápices térmicos)
- Métodos infrarrojos

**f) Métodos basados en transporte de materia**

- Líquidos penetrantes
- Exudación de gases
- Partículas filtradas

**g) Métodos basados en energía mecánica**

- Dureza mecánica (resistencia)
- Rugosimetría
- Extensómetros eléctricos (medidores de deformación)
- Lacas frágiles
- Fotoelasticidad

Por su facilidad e idoneidad en la aplicación de este tema, se estudiarán ensayos no destructivos que puedan evaluar la calidad de la soldadura de elementos estructurales de acero, tales END son Inspección Visual, Ultrasonidos, Líquidos penetrantes y Partículas magnéticas.

### 2.5.1. Inspección Visual

La inspección visual fue definitivamente el primer método no destructivo empleado por el hombre. Actualmente la inspección visual es el más importante procedimiento de prueba para la detección y evaluación de defectos. Se han desarrollado una gran cantidad de técnicas de investigación óptica avanzada para este propósito.<sup>1</sup>

Para este ensayo, se utiliza instrumentos sencillos como galgas de medición, iluminación artificial, flexómetro, lentes de aumento, etc.



**Fig. 2.12.** Instrumentos utilizados en inspección visual de soldadura

### 2.5.2. Ultrasonidos.

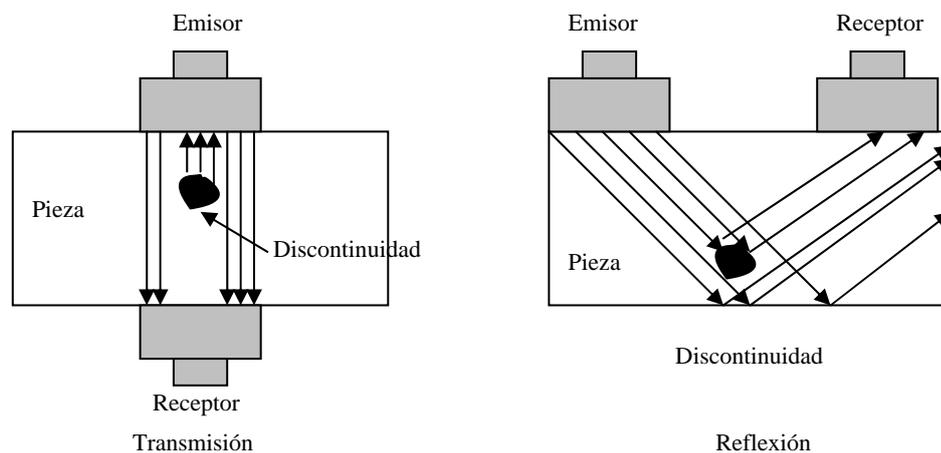
---

<sup>1</sup> <http://www.grupoendycc.com/>

El ultrasonido son vibraciones mecánicas que se transmiten en el material por medio de ondas de la misma naturaleza que el sonido, pero con frecuencias mayores a 20,000 ciclos/segundo. (Hertz), es decir fuera del rango audible del oído humano.

El principio físico en el que se basa este método de inspección es la transmisión a velocidades constantes de señales de ultrasonido a través del material y la captación del eco producido cuando existe un cambio en el material, es decir un cambio en la impedancia acústica (resistencia que oponen los materiales al paso de una onda acústica)<sup>1</sup>

El ensayo consiste en detectar defectos internos basándose en la reflexión de las ondas ultrasónicas al atravesar medios de diferente densidad.<sup>2</sup>



**Fig. 2.13.** Ensayo con ultrasonidos

Con el método de ultrasonido podemos realizar control de calidad materiales estructurales y este control puede ser de tres tipos:

- Detección de discontinuidades (Defectología)
- Determinación de propiedades (caracterización)
- Medida de espesores (metrología)

<sup>1</sup> <http://www.grupoendycc.com/>

<sup>2</sup> <http://materiales.eia.edu.co>

Un operador de ultrasonido para ser competente en cuanto a su desempeño, deberá tener; a más de experiencia, conocimiento de las propiedades de los materiales y la incidencia que los defectos tienen sobre estas propiedades como procesos de fabricación, con un historial de la vida de la pieza como por ejemplo a que tipos de esfuerzos ha estado sometida, si ha sufrido algún tratamiento térmico, etc. En cuanto a su calificación o certificación, los códigos de construcción estudiados en este trabajo exigen el uso de personal calificado ASNT (en inglés American Society for Nondestructive Testing) nivel I y II.

Dentro de la inspección ultrasónica se manejan parámetros y variables que deben ser registradas en un informe de inspección. Éstas determinan la capacidad de un sistema para detectar distintos tipos y tamaños de discontinuidades.

A continuación un listado y breve descripción de cada uno de estos parámetros:

**Ganancia:** Es la amplitud o intensidad de la onda ultrasónica que una vez enviada por el equipo, es recibida de regreso por el mismo, y registrada en la pantalla. El uso y regulación de ésta, está detallado en el código y así mismo en el procedimiento escrito.

Dependiendo de la atenuación que ofrezca el material, la ganancia deberá ser modificada para cumplir con los requerimientos del procedimiento.

La ganancia se mide en dB (decibeles)

**Campo:** Es la representación en pantalla del “tiempo de vuelo” de la onda, que, según la escala escogida, es posible reflejar distancia recorrida. Dependiendo del tipo de transductor usado, espesor a evaluar y discontinuidades buscadas, se puede escoger el tamaño del campo, para así, visualizar correctamente las indicaciones. El campo se puede visualizar, entonces, en unidades de longitud y tiempo (milímetros o segundos por ejemplo)

**Velocidad del sonido:** Ésta es una constante para cada material y se puede escoger en el equipo para que el mismo, con este dato, pueda corregir las

escalas de tiempo de vuelo y campo. La velocidad del sonido se mide en metros por segundo (m/s), o en pulgadas por segundo (in/s).

Las velocidades de sonido están tabuladas en el Anexo A de este documento.

**Retardo (punto inicial de ventana):** Es el punto variable para el usuario del equipo, donde se puede considerar el inicio de la onda en la pantalla, dando la posibilidad de despreciar los ecos internos del transductor, del acople con el material e incluso la pintura, escogiendo se muestre solamente el eco correspondiente al material propio de estudio.

**Frecuencia:** Ésta es una característica propia del transductor, pero existen equipos que pueden afinar más su señal de emisión para adaptarse mejor a cada transductor.

Los transductores trabajan en un rango de 0,1 a 18 MHz

Los fundamentos físicos y parte de la teoría desarrollada para ultrasonido se encuentra detallada en el Anexo A de este trabajo.

### **2.5.3. Tintas Penetrantes.**

La inspección por Líquidos Penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados, aprovechando algunas propiedades de los líquidos descritas:

La **capilaridad** es la cualidad que posee una sustancia para absorber un líquido. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido. Esto causa que el menisco tenga una forma curva cuando el líquido está en contacto con una superficie vertical. En el caso del tubo delgado, éste succiona un líquido incluso en contra de la fuerza de gravedad. Este es el mismo efecto que causa que los materiales porosos absorban líquidos.<sup>1</sup>

La **viscosidad** es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

---

<sup>1</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Capilaridad>

Otras propiedades se encuentran desarrolladas de forma más amplia en el anexo A y son orientadas hacia el punto de vista de este ensayo.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen al menos 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox.), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.<sup>1</sup>

Tipo	Técnica	Pigmento	Caracterización
A	1	Fluorescente	Lavables con Agua
	2		Post-emulsificables
	3		Removibles con solvente
B	1	Coloreado	Lavables con Agua
	2		Post-emulsificables
	3		Removibles con solvente

**Tabla 2.1.** Clasificación de líquidos penetrantes

La tabla 2.1 clasifica a los líquidos penetrantes, indicando sus características de manejo

<sup>1</sup> <http://www.sieend.com.mx>

De la misma manera, se adjunta una mayor descripción de los fenómenos físicos que gobiernan este ensayo, en el Anexo A de este trabajo.



**Fig. 2.14.** Kit para inspección con Líquidos Penetrantes

#### **2.5.4. Partículas Magnéticas.**

La inspección por Partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferro-magnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferro magnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce polos.

Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

Actualmente existen al menos 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. En este caso, antes de seleccionar alguna de las variantes, es

conveniente estudiar el tipo de piezas a inspeccionar, su cantidad, forma y peso, a fin de que el equipo a emplear sea lo más versátil posible; ya que con una sola máquina es posible efectuar al menos 16 de las variantes conocidas.<sup>1</sup>

A continuación en las tablas 2.2 y 2.3 las ventajas y limitaciones de distintos métodos

### Por Vía Seca

VENTAJAS	LIMITACIONES
Permite localizar con facilidad discontinuidades sub- superficiales.	Menos sensible que el método húmedo para discontinuidades muy pequeñas.
Fácil de utilizar en piezas grandes con equipo portátil a pie de obra.	Difícil de aplicar en piezas de geometría Irregular.
Buena movilidad de las partículas.	Más lento que el método húmedo.
Más cómodo y más limpio que el método húmedo.	Difícil de automatizar.

**Tabla 2.2.** Ventajas y desventajas de método de PM por vía Seca

### Por vía húmeda

VENTAJAS	LIMITACIONES
Es el método más sencillo para grietas superficiales	No detecta normalmente discontinuidades Subsuperficiales
Cubre con facilidad piezas grandes o irregulares	profundidades mayores a 1 mm.
El método más rápido para el control de grande series de piezas pequeñas	Cuando se usa kerosén como vehículo, existe riesgo de inflamación al producirse chispas en contactos defectuosos.
Las partículas tienen buena movilidad en la suspensión líquida.	

<sup>1</sup> <http://www.sieend.com.mx/>

<p>Es fácil controlar la concentración de las partículas en la suspensión.</p> <p>Fácil de recorrer el líquido sobrante.</p> <p>Fácil de automatizar.</p>	<p>Es necesario en un circuito de circulación y agitación de la suspensión.</p> <p>A veces presenta el problema de la limpieza de la superficie de piezas para eliminar las partículas adheridas que pueden actuar como abrasivos.</p> <p>Es preciso controlar periódicamente la concentración de la suspensión y mantenerla dentro de los límites de utilización.</p>
---	--

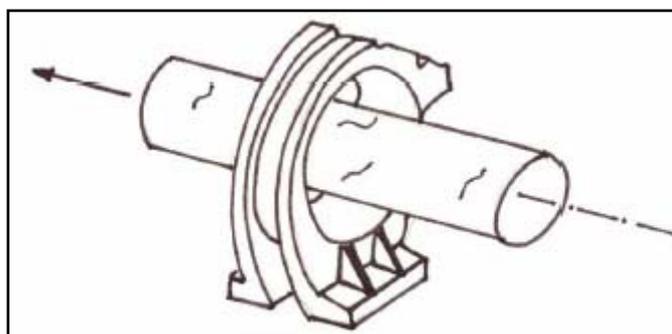
**Tabla 2.3.** Ventajas y desventajas de método de PM por vía Húmeda

### Tipos de Magnetización

Existen muchas formas de magnetización y varían sus efectos dependiendo de sus parámetros de funcionamiento, por lo que pueden ser escogidos para cada aplicación.

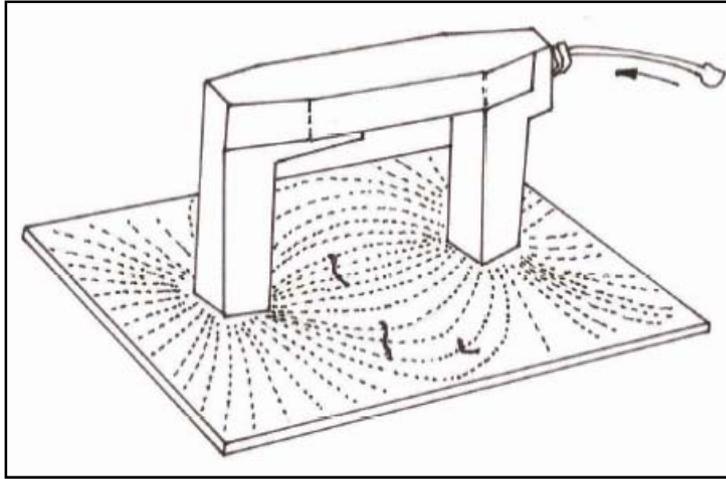
A continuación se exponen algunos equipos de magnetización de uso común en este ensayo:

**Bobinas:** Generan un campo magnético con la dirección del eje de las espiras de la bobina.



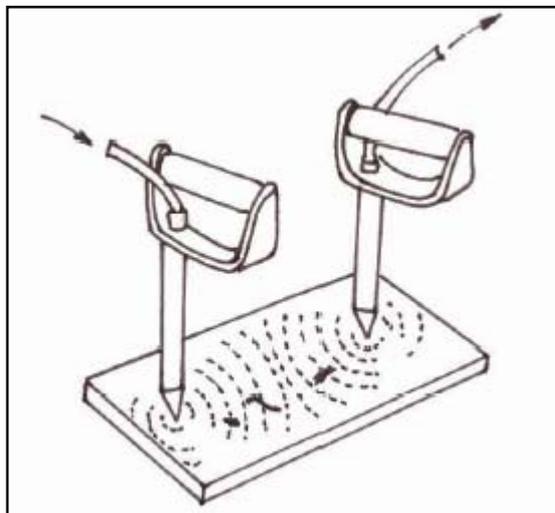
**Fig. 2.15.** Esquema de Bobina de Magnetización

**Yugo magnético:** Contiene en su interior una bobina que rodea un núcleo de hierro que concentra el magnetismo y conduce dicho efecto por medio de patas fijas o móviles a la pieza a examinar.



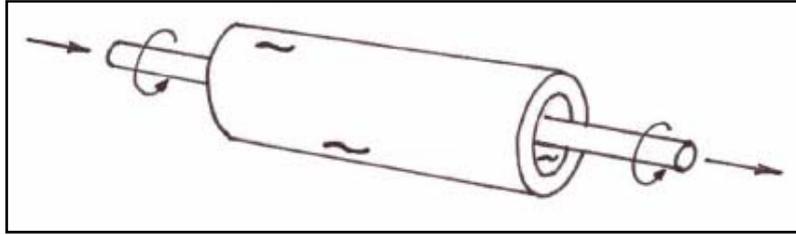
**Fig. 2.16.** Esquema de un Yugo Magnético

**Puntas:** A través de hacer circular una corriente determinada a través de la pieza a examinar, se genera en esta un campo magnético que servirá para la ejecución del ensayo.



**Fig. 2.17.** Esquema de Magnetización por Puntas

**Conductor Central:** La corriente eléctrica circula a través del conductor sólido de cobre que se coloca en el interior de la pieza hueca, generando así un campo magnético que rodea el conductor central y la pieza de examen.



**Fig. 2.18.** Esquema de Magnetización con Conductor Central

### **2.5.5. Radiografía Industrial**

El caso de la Radiografía Industrial, como prueba no destructiva, es muy interesante; pues permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular.

La inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.

A pesar de que este trabajo intenta cubrir la mayor parte de técnicas no destructivas de diagnóstico, la teoría de Radiografía Industrial no será desarrollada de forma extensa por razones que entre otras detallo a continuación:

- La practicidad de este método se ve reducida frente a otros ensayos ya desarrollados.

- El riesgo para el personal operador y no operador que implica este ensayo es muy alto.
- La tendencia generalizada en inspección de soldadura es el reemplazo de este método volumétrico por otros más precisos e instantáneos.
- El costo de este ensayo resulta alto en bajas y altas cantidades.



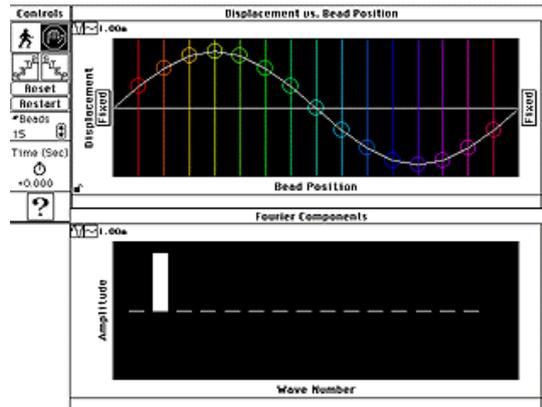
**Fig. 2.19. – 2.20.** Consola de mando y Cabezal de Rx marca Balteau ®<sup>1</sup>

### 2.5.6. Otros ensayos.

El **Wavemaker** está diseñado para un monitoreo rápido de tubería en longitudes extendidas con el objetivo de detectar corrosión externa o interna así como axial y agrietamiento circunferencial. Puede usarse en una variedad de diámetros de tuberías que incluyen tuberías enterradas o aisladas. La prueba puede hacerse mientras la planta está operando lo cual minimiza los paros. Decenas de metros de tubería pueden inspeccionarse en un día inspeccionando el 100% de la pared de la tubería durante una prueba. El Wavemaker Sistema de Monitoreo de Tubería es un método eficiente y efectivo.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Equipo de RX del Laboratorio de END de la EPN

<sup>2</sup> <http://www.sieend.com.mx>



**Fig. 2.21 – 2.22:** Equipo Wavemaker y gráfico de resultados

El sistema **ACFM de medición de campos de corriente alterna**, (Alternative Current Field Measurement) es una nueva técnica de inspección electromagnética que se utiliza para la detección y dimensionamiento de grietas por fatiga. Adoptada inicialmente en 1991 en la industria petrolera para la inspección de uniones soldadas en las estructuras de las plataformas marinas e instalaciones de proceso, la técnica es utilizada actualmente por una serie de industrias que incluyen la nuclear, petroquímica, eléctrica y aeroespacial. Proporciona la detección y medición fiables de grietas en componentes metálicos y puede aplicarse a través de capas de pintura y de revestimientos de varios milímetros de espesor. También se pueden utilizar palpadores para altas y bajas temperaturas de forma manual o automatizada, con el fin de no tener que cerrar temporalmente la instalación de proceso. El sistema ACFM suministra un registro permanente de las inspecciones que se puede almacenar en disquetes flexibles y volver a reproducir, examinar e imprimir para elaboración de informes.<sup>1</sup>

**La medición y análisis de vibraciones** es utilizado, en conjunto con otras técnicas, en todo tipo de industrias como técnica de diagnóstico de fallas y evaluación de la integridad de máquinas y estructuras. En el caso de los equipos rotatorios, la ventaja que presenta el análisis vibratorio respecto a otras técnicas como tintas penetrantes, radiografía, ultrasonido, etc., es que la evaluación se realiza con la máquina funcionando, evitando con ello la pérdida de producción que genera una detención

<sup>1</sup> <http://www.sieend.com.mx>

El transductor es el primer eslabón en la cadena de medición y debería reproducir exactamente las características de la magnitud que se desea medir. Un transductor es un dispositivo electrónico que sensa una magnitud física como vibración y la convierte en una señal eléctrica (voltaje) proporcional a la magnitud medida.<sup>1</sup>



**Fig. 2.23.** Análisis de Vibraciones con equipo portátil

La **Emisión Acústica** (EA) es la clase de fenómeno que genera ondas elásticas transitorias por la liberación rápida de energía a partir de fuentes localizadas, o las ondas transitorias generadas de este modo. Todos los materiales producen EA durante la creación y propagación de fisuras y durante la deformación. Las ondas elásticas se mueven a través del sólido hacia la superficie, donde son detectadas por sensores. Estos sensores son transductores que convierten las ondas mecánicas en ondas eléctricas. De este modo se obtiene la información acerca de la existencia y ubicación de posibles fuentes. Esto es similar a la sismología, donde las ondas sísmicas alcanzan las estaciones situadas en la superficie de la tierra. Luego del procesamiento de las señales, se obtiene la ubicación de los centros sísmicos.<sup>2</sup>

Este ensayo es aplicable no solamente en estructura metálica sino también en estructura tradicional de concreto y otras aplicaciones se encuentran también en múltiples campos de ingeniería.

<sup>1</sup> <http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/CONFCHILE.pdf>

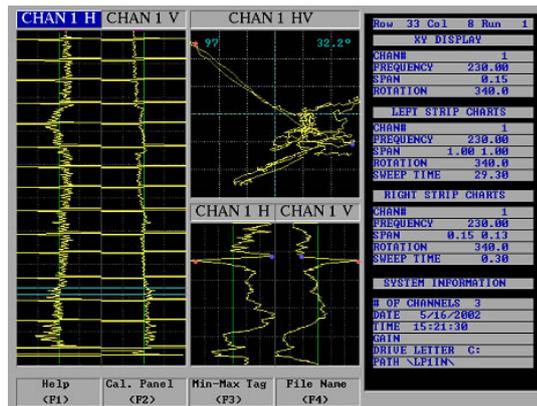
<sup>2</sup> <http://www.cnea.gov.ar>



**Fig. 2.24.** Inspección por emisiones acústicas

Las pruebas con **corrientes de Eddy** se basan en la interacción entre el material y un campo electromagnético. Una corriente alterna fluyendo a través de una bobina conductora produce un campo electromagnético. Si cerca o dentro de la bobina se coloca un material conductor el campo de la bobina inducirá corrientes de Eddy y campos electromagnéticos adicionales en la muestra, corrientes que a su vez interactuarán con el campo original de la bobina. Midiendo el efecto de la muestra sobre la bobina, se podrán detectar cambios en conductividad eléctrica o en permeabilidad magnética de la muestra, generados por diferencias en composición, micro estructura y propiedades. Dado que las discontinuidades de la muestra alterarán los campos electromagnéticos, es posible detectar defectos potencialmente dañinos. Mediante esta prueba incluso pudieran detectarse cambios en las dimensiones o en el espesor de los recubrimientos de una muestra.

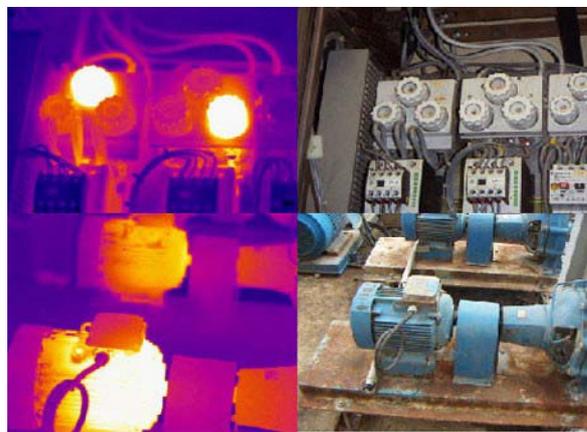
Las pruebas con corrientes de Eddy, igual que la inspección con partículas magnéticas, son más adecuadas para detectar defectos cerca de la superficie de una muestra. Particularmente a altas frecuencias, las corrientes de Eddy no penetran profundamente debajo de la superficie.



**Fig. 2.25 – 2.26.** Equipo de corrientes Eddy y gráfica de resultados en el PC

La prueba con corrientes de Eddy es particularmente rápida en comparación con la mayor parte de las demás técnicas de prueba no destructivas. Por tanto, gran cantidad de piezas pueden probarse rápida y económicamente. A menudo la prueba con corriente de Eddy se toma como una prueba de "Pasa o No Pasa" estandarizada con piezas en buen estado. Si la interacción entre bobina y pieza es la misma que cuando se prueban otras muestras, se puede suponer que éstas son de buena calidad.

**Termografía** Generalmente las imperfecciones en un material alteran la velocidad de flujo térmico a su alrededor, generando gradientes de alta temperatura, es decir puntos calientes. En la termografía, a la superficie de un material se le aplica un recubrimiento sensible a la temperatura, a continuación el material es calentado uniformemente y luego enfriado. La temperatura es más elevada cerca de una imperfección que en otros sitios; por tanto, el color del recubrimiento en este punto será distinto y fácilmente detectado.



**Fig. 2.27.** Imágenes termográfica y natural, donde se evidencia calentamiento

## **CAPITULO 3**

### **ESTUDIO DE NORMAS DE REFERENCIA PARA END E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS.**

En este capítulo se realizará un estudio de normas de soldadura para estructuras metálicas, cuyos controles de calidad se realicen mediante END y estos se encuentren claramente definidos en dichas normas.

Se da el caso que en el código ANSI-AWS D1.3. no se estipula el uso de END como líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos ni radiografía industrial y solamente regula la inspección visual de la soldadura. Esto, debido a que la mayoría de estas pruebas son idóneas a inspeccionar espesores mayores a los que aplican a esta norma.

#### **3.1. Estudio del Código ASME V**

##### **3.1.1. Alcance**

Esta sección del código contiene los requerimientos y los métodos para pruebas no destructivas, que son requerimientos de otras secciones del código ASME que hacen referencia a ASME V. Estos métodos de pruebas no destructivas son utilizados para detectar discontinuidades superficiales o internas, en los materiales, soldaduras y partes o componentes fabricados. Estos incluyen pruebas radiográficas, por ultrasonidos, por líquidos penetrantes, por partículas magnéticas, por corrientes de Eddy, por inspección visual y por emisiones acústicas.

Es decir, ASME V reglamenta exclusivamente a los métodos de END y sus parámetros, para que estos puedan, a su vez, evaluar las áreas de interés en la parte mecánica objeto de este proyecto.

La Subseccion A describe el método de prueba no destructiva a ser usado si éste está referido por otra sección del código.

La *Subsección B* enumera los estándares para los métodos de pruebas no destructivas que han sido aceptados como estándares.

Estos estándares son más bien de carácter informativo y no son obligatorios sin referencia específica de la totalidad o parte de la subsección A o en otra parte del código.

### **3.1.2. Recomendaciones de la norma para aplicación de las técnicas de inspección de soldaduras con los métodos RI, US, TP, PM.**

#### **3.1.2.1. Radiografía Industrial**

ASME V trata, en su artículo 2 y 22 específicamente la inspección no destructiva por el método de radiografía industrial.

Los requerimientos mandatorios para pruebas radiográficas se especifican en el artículo 2 de la sección V del código, dando algunas recomendaciones a continuación descritas.

#### **Requerimientos y compilación para el procedimiento escrito de radiografía.**

Cuando el código referente lo requiera, el procedimiento escrito debe contener como mínimo las siguientes variables técnicas:

- (a) *rango de material y espesor*
- (b) *isotopo usado o voltaje máximo de rayos X*
- (c) *distancia mínima de la fuente al objeto*
- (d) *distancia máxima del lado del objeto cercano a la fuente hasta la película*
- (f) *marca y tipo de la película*
- (g) *pantalla de plomo utilizada*

## **Preparación de la superficie**

### **Materiales**

Las superficies deben cumplir los requerimientos de especificaciones aplicables de materiales, con el objetivo de que las indicaciones resultantes en la película no ocasionen confusiones con posibles discontinuidades

.

### **Soldadura**

Los cordones de soldadura o las irregularidades de superficies soldadas deben ser removidas, en lo posible, de ambos lados, mediante cualquier procedimiento adecuado, con el que pueda resultar una imagen clara que no confunda, es sus posibles indicaciones, con las de discontinuidades posibles.

### **Radiación de retro dispersión**

Un símbolo de plomo “B” debe ser colocado en la parte posterior de la película para determinar si esta está expuesta a radiación de retro dispersión

### **Sistema de Identificación**

Un sistema de identificación debe usarse, obteniendo así identificación permanente en la radiografía atribuida al contrato, componente, soldadura o costura, número de parte, etc.,

Además, el logotipo del fabricante, o el nombre y fecha de la radiografía, deben ser planificados y permanentemente incluidos en la radiografía

En cualquier caso, estos datos no deben interferir con el área de interés de la radiografía.

Además describe parámetros básicos de Equipos y materiales, Calibración, Técnica de inspección, Evaluación, etc. además de apéndices que se aplican en casos especiales de radiografía como por ejemplo en automatización y digitalización del proceso.

### **3.1.2.2. Ultrasonidos**

ASME V trata, en su artículo 4 y 23 específicamente la inspección no destructiva por ultrasonidos.

En el artículo 4 se describe los requerimientos a ser utilizados en la selección y desempeño de métodos de pruebas ultrasónicas. Estos procedimientos se usarán para pruebas ultrasónicas y el dimensionamiento de las indicaciones para compararlas con estándares de aceptación.

Esta sección del código debe ser consultado para personal de certificación o calificación, procedimientos, calificación, aceptación, sistema de inspección, certificación y control de bloques de calibración, cantidad o volumen a ser inspeccionado, estándares de aceptación a usarse en la evaluación, y requerimientos de reporte.

En el artículo 23 se describe, en las partes que a este estudio competo, los procedimientos y estándares para los métodos de inspección ultrasónica de platinas de acero de 1/2" o mayores, esto se ha desarrollado para asegurar la no existencia de discontinuidades de laminación, porosidad, inclusiones, etc. dentro del material.

Cabe señalar que esto no limita el alcance de esta prueba a la evaluación de soldadura estructural pues este artículo está tratando sobre problemas sobre todo de fabricación del material y las indicaciones serían intrínsecas a este tipo de falla.

En el caso de la evaluación de soldadura se recurre a la utilización de palpadores angulares que, por reflexión, recogen indicaciones que provengan de superficies no paralelas a la superficie de contacto, es decir, de cortes en lámina, ó, lo que es el objetivo, detectar falta de fusión.

### **3.1.2.3. Tintas Penetrantes**

ASME V trata, en sus artículos 6 y 24 específicamente la inspección no destructiva por medio de líquidos penetrantes.

En forma similar a los métodos anteriores, ASME V como código de referencia, regula al método y sus estándares, para cuando otras secciones del código los evoquen.

Dentro del artículo 6, se describen los pasos necesarios en el procedimiento de inspección, como son: el procedimiento inicial y su revisión. Se describen los materiales a utilizarse en la inspección, la no existencia de contaminantes y previene la alerta de ventilación para evacuar los vapores tóxicos del ambiente del personal.

Además indica los requerimientos de preparación de la superficie a inspeccionar, de la prueba, interpretación y evaluación.

El artículo 24 trata el uso de sulfuros en productos de petróleo, reglamentándolo en el uso como END de líquido penetrante.

### **3.1.2.4. Partículas Magnéticas**

ASME V trata, en sus artículos 7 y 25 específicamente la inspección no destructiva por medio de líquidos penetrantes.

La inspección con partículas magnéticas puede ser usada para detectar fracturas o fisuras del material y otras discontinuidades cercanas a la superficie de materiales ferromagnéticos.

La detectabilidad es buena en la superficie y disminuye en mayor medida a razón de la profundidad de la discontinuidad

Los tipos de discontinuidades que pueden ser detectadas por este método son grietas, mordeduras, costuras, rechupes, y laminaciones.

En principio, este método implica una magnetización de el área a ser examinado, y la aplicación de partículas ferromagnéticas (el medio de inspección) a la superficie.

De la misma forma, esta sección del código, dentro del artículo 7, se describen los pasos necesarios en el procedimiento de inspección, como son: el procedimiento inicial y su revisión. Se describen los materiales a utilizarse en la inspección, la no existencia de contaminantes y previene la alerta de ventilación para evacuar los vapores tóxicos del ambiente del personal.

Además indica los requerimientos de preparación de la superficie a inspeccionar, de la prueba, interpretación y evaluación.

El artículo 25 trata sobre las técnicas a aplicarse en la inspección con partículas magnéticas.

### **3.2. Estudio de Norma ANSI-AWS D1.1**

Este código contiene los requerimientos para fabricantes de planta y montaje de estructura de acero soldada. Cuando este código esté estipulado en documentos contractuales, el estricto apego a todos los artículos del código será requerido, excepto aquellos que el ingeniero o los documentos del contrato modifiquen expresamente o los excluya.

Las secciones de este código son las siguientes:

**1. Requerimientos generales.** Contiene información básica del alcance y limitaciones del código y responsabilidades de las partes involucradas en la fabricación de estructuras de acero.

**2. Diseño de juntas soldadas** Contiene requerimientos para el diseño de juntas soldadas compuestas por elementos con secciones tubulares y no tubulares.

**3. Precalificación.** Contiene los WPS's precalificados a utilizar.

**4. Calificación.** Contiene los requerimientos para la calificación de WPSs que no se encuentran en el punto anterior, como también los procedimientos para calificación del desempeño del personal de acuerdo a los procedimientos de este código.

**5. Fabricación.** Contiene requerimientos generales de fabricación en planta y montaje aplicables a estructura de acero soldada regida por este código, incluido los requerimientos de material metálico base, insumos de soldadura (consumibles), técnicas de soldadura, detalles de soldadura, preparación del material y ensamblaje, reparación de la soldadura, y otros requerimientos.

**6. Inspección.** Contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades del inspector, criterios de aceptación para soldadura de producción, y procedimientos estándar para inspección visual y END.

**7. Soldadura de pernos.** Contiene las exigencias para la soldadura de pernos de acero estructural.

**8. Fortalecimiento y la reparación de estructuras existentes.** Contiene la información básica pertinente a la modificación o reparación soldada de las estructuras de acero actuales.

La Sección 6 de este código se detalla todo acerca de los requerimientos respecto a la calificación del inspector y sus responsabilidades, los criterios de aceptación y los procedimientos para ensayos no destructivos.

Esta sección está dividida en partes designadas con letras A, B, C, D, E, F y G.

En la parte C se describen los criterios de aceptación para inspección visual y con END de conexiones tubulares y conexiones no tubulares estática y cíclicamente cargadas.

Para inspección visual, se describen dichos criterios de una forma más fácil de manejar en la tabla 6.1 de esta norma (ver anexo B).

### **3.2.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END**

Para ensayos no destructivos se describen los criterios de aceptación para indicaciones en cada tipo de ensayos.

Para radiografía, la parte 6.12 indica que no deben existir fisuras y las indicaciones no deben ser aceptadas si estas discontinuidades sobrepasan los límites:

- (1) Discontinuidades alargadas que excedan el tamaño máximo especificado en la figura 6.1 del Anexo C del código.
- (2) Discontinuidades más cercanas que el mínimo permitido en la figura 6.1 del Anexo C del código.
- (3) Discontinuidades redondeadas (poros) mayores al máximo de  $E/3$  (E: ancho del cordón), sin exceder  $1/4"$  o 6mm. Pero, si el espesor es mayor a 2" ó 50mm., la máxima indicación redondeada tolerable puede ser  $3/8"$  ó 10mm.
- (4) Discontinuidades aisladas, como una indicación de colonia de poros, sumando sus tamaños, no puede sobrepasar el tamaño máximo de la discontinuidad permitida en la figura 6.1. del Anexo C del código.

El espacio mínimo para otro grupo o una discontinuidad alargada o redondeada o de un borde o al final de una intersección de soldadura será de tres veces la

mayor dimensión de la mayor de las discontinuidades que se esté considerando.

(5) La suma de cada discontinuidad individual no debe exceder  $2E/3$  ó  $3/8"$  ó 10mm. Si es menor, en 25,4 mm. de soldadura. Este requerimiento es independiente de (1), (2) y (3)

(6) Discontinuidades alineadas, donde la suma de las discontinuidades excedan E en cualquier tramo de 6E. Cuando la longitud de la soldadura evaluada sea menor a 6E, la suma permitida será la proporcional (E es el tamaño de la soldadura).

Además se extienden limitaciones para casos especiales de uniones soldadas y los criterios de aceptación para uniones soldadas tubulares.

Para pruebas ultrasónicas, la parte 6.13 indica que los criterios de aceptación para soldadura, debe ceñirse a los requerimientos de la Tabla 6.2. del código Para juntas a penetración completa, los criterios de aceptación para discontinuidades detectadas por barrido de forma "E" , debe estar basado en espesor de soldadura igual al espesor presente de soldadura mas 1". Las discontinuidades detectadas por el escaneo tipo "E" deben ser evaluadas bajo criterios de la tabla 6.2 incluida en el Anexo D

En la parte D se indica que partes del código se deben revisar respecto a procedimientos de inspección con distintos END en soldadura de estructura, además, se describe la calificación y certificación de personal. Adicionalmente se clarifica la extensión de la inspección, clasificándola en Total, parcial y puntual según el caso (Full, partial, spot) y se define por contrato, excepto en el caso de inspección puntual que el código define previamente.

Cuando la inspección puntual es requerida, el número de puntos en cada categoría de unión soldada a ser inspeccionada, debe incluirse en la información que se proporcione a quien solicite el servicio.

Cada punto de inspección debe cubrir al menos 4" ó 100mm. De la longitud soldada.

Cuando la inspección puntual revele indicaciones con discontinuidades para rechazo, requiere reparación. La longitud de la discontinuidad debe ser revelada totalmente, incluso si es necesario un barrido total (full) hasta que se determine toda la discontinuidad.

Adicionalmente se deben realizar dos puntos de inspección cuya locación se acordará con los solicitantes del servicio.

Antes de la inspección, los solicitantes deben proporcionar al inspector la información de la soldadura, como lo son materiales, geometría, parámetros de soldadura, diseño de la junta, etc., y se hará lo mismo en caso de una reparación donde algún parámetro se modifique.

En una forma más clara, se exponen los criterios de aceptación en tablas y gráficos, así, para inspección visual, Líquidos penetrantes y partículas magnéticas, la tabla 6.1 del código resume los criterios para estos ensayos, la tabla 6.2 y 6.3 hace lo respectivo para la inspección con ultrasonidos y la figura 6.1 y similares para inspección radiográfica.

### **3.2.2. Radiografía Industrial**

La parte E trata exclusivamente los ensayos no destructivos por Radiografía, y en su parte 6.17 describe los procedimientos a utilizarse en la inspección, aquí se especifican la mayor parte de parámetros y variables que se regulan en la inspección con radiografía.

Este ensayo, si bien es útil, y su interpretación es directa y sencilla, requiere de medidas de seguridad estrictas para el personal circundante, esto supone que el tiempo disponible para realizar estas pruebas es muy limitado. Además de que solamente cuando se ha concluido el tiempo de revelado es posible observar la calidad de la inspección, y si esta es buena, evaluarla, el tiempo de exposición radiográfica, es medianamente largo.

Frente a otros ensayos, resulta poco ventajoso en cuanto a niveles de productividad y a mayor riesgo para los operarios. Es por esto y otras razones que otros ensayos no destructivos empiezan a ocupar, con mayores tecnologías, el sitio que la radiografía industrial ha ocupado en el campo de la inspección no destructiva, no solamente de soldadura, sino en otros ámbitos de la industria.

### **3.2.3. Ultrasonidos**

La parte F trata la inspección no destructiva por ultrasonidos, Esta parte está incluida en este trabajo en el Anexo E para su análisis en el capítulo 5. A continuación un análisis más detallado de esta parte de la norma dada la importancia y versatilidad del método en inspección de soldadura estructural, objetivo de este trabajo.

Los **procedimientos y normas** establecidas en la Parte F regirán los ensayos de ultrasonido de soldadura de ranura y de filete, entre espesores de 5/16" y 8" (8 mm. y 200 mm.). Para espesores menores a 5/16" (8mm.) o mayores a 8" (200mm.), los ensayos se llevaran de conformidad con el anexo S de este código. Estos procedimientos no rigen para uniones tubo a tubo T, Y o K

**Variaciones** El anexo S es ejemplo del uso de técnicas alternativas de ensayos con ultrasonido de soldadura de ranura. Las variaciones en el procedimiento de inspección, equipos y criterios de aceptación, no incluidas en la parte F de la sección 6 del código, pueden ser usadas con la aprobación del ingeniero, como incluir otras variaciones como espesores, geometrías de soldadura, tamaños de transductor, frecuencias, acoplante, superficies pintadas, técnicas de prueba, etc. Estas variaciones se registrarán en los registros del proyecto.

### **Requerimientos de calificación**

En cumplimiento de lo requerido en 6.14.6, de este código, la calificación del operador de ultrasonido debe incluir una específica y practica prueba que debe estar basada en requerimientos de este código. Esta prueba requiere que el

operador de ultrasonido demuestre su habilidad para aplicar las reglas de este código en la precisa detección y eliminación de discontinuidades.

### **3.2.3.1. Equipos de Ultrasonido**

Los instrumentos de ultrasonido deben ser del tipo pulso eco adecuado para el uso con transductores con frecuencias variantes entre 1 y 6 Megahertz. La pantalla debe mostrar un rastro de tipo “**A scan**”.

La linealidad horizontal del instrumento de prueba deberá ser calificada sobre el camino sónico completo usado en la prueba, conforme a 6.30.1. del código.

Los instrumentos de prueba deben tener un atenuador calibrado, ajustable en 1 o 2 dβ en un rango de 60 dβ. La exactitud de la configuración del atenuador deberá estar dentro de más o menos 1 dβ. El procedimiento para la calificación debe ser como lo descrito en 6.24.2 y 6.30.2. del código.

El rango dinámico de la pantalla del instrumento deberá ser tal que la diferencia de 1 dβ de amplitud sea fácilmente apreciable en la pantalla.

Los transductores deben tener un área activa de no menos de ½ pulgadas cuadradas o 323 mm<sup>2</sup> y no más de 1 pulgada cuadrada o 645 mm<sup>2</sup>. Los transductores podrán ser redondeados o cuadrados y deberán ser capaces de resolver las tres reflexiones descritas en 6.29.1.3. del código.

Los transductores de ángulo consistirán en un transductor y una cuña angulada. Este transductor puede ser compuesto por unidades separadas o por una sola pieza integral.

La frecuencia de los transductores debe estar entre 2 y 2,5 MHz.

El cristal del transductor debe ser perfectamente cuadrado o rectangular y puede variar en ancho de 5/8” a 1” (15 a 25 mm.) y en altura de 5/8” a 13/16” (15 a 20 mm.). La máxima razón ancho altura debe ser 1.2 a 1.0

El transductor debe producir un haz sónico en los materiales probados sin variación mayor a  $2^\circ$  respecto a uno de los siguientes ángulos comunes de transductores:  $70^\circ$ ,  $60^\circ$  o  $45^\circ$  como lo descrito en 6.29.2.2 del código.

Cada transductor debe ser identificado y claramente indicar su frecuencia, su ángulo de refracción nominal, y su punto de inicio del haz.

Las máximas reflexiones internas permitidas del transductor deben ser como lo descrito en 6.24.3 del código.

El procedimiento de calificación, usando el patrón de referencia IIW debe estar en concordancia con 6.29.2.6. del código y como está mostrado en la figura 6.21 del código, que además consta como Anexo F en este trabajo.

### **Calificación del Equipo**

La linealidad horizontal del instrumento de prueba debe ser recalificada luego de cada 40 horas de trabajo en cada rango de distancias que el instrumento vaya a ser usado. El procedimiento de calificación debe estar conforme a 6.30.1 del código o en su defecto en el anexo H del mismo código.

El instrumento de atenuación debe cumplir los requerimientos de 6.22.4. del código y debe ser chequeado para correcta calibración cada 2 meses de acuerdo a 6.30.2. del código (aproximación de amplificación).

Las máximas reflexiones internas del transductor deben ser verificadas cada intervalo máximo de uso de 40 horas.

Con el uso de un patrón de calibración, cada transductor angular debe ser chequeado cada 8 horas de uso para determinar si la superficie de prueba continúa plana, que el punto de entrada sónica este en el lugar correcto y que el ángulo definido continúe dentro de la tolerancia de  $2^\circ$  en más o en menos. Los transductores que ya no cumplan estas características deben ser reparados o reemplazados.

### **Calibración para la prueba**

La calibración de sensibilidad y barrido horizontal debe ser realizado por el operador de ultrasonido, justo antes y en el lugar de inspección de cada soldadura.

La re calibración debe ser hecha luego de un cambio de operador, cada 30 minutos máximo y si el circuito electrónico ha sido suspendido de alguna forma que incluye lo siguiente:

- (1) Cambio de Transductor
- (2) Cambio de Batería
- (3) Cambio de fuente eléctrica
- (4) Cambio de cable coaxial
- (5) Falla de energía

La calibración para pruebas de metal base con transductores planos debe ser hecha con un transductor aplicado a la cara A del metal base y se realiza de la siguiente manera:

En barrido horizontal se ajustará la calibración de distancia para presentar el equivalente de por lo menos dos espesores de placa en la pantalla.

La sensibilidad se ajustará en un lugar libre de las indicaciones de manera que la primera reflexión desde el otro lado de la placa será del 50% al 75% de la altura de la pantalla completa.

La calibración para prueba con transductores angulares debe ser realizada como lo indica el anexo H y H2.4 del código, para métodos alternativos (Anexo G).

El barrido horizontal debe ser ajustado para representar la distancia del camino sónico con el uso del patrón IIW o patrones alternativos. La distancia de calibración se hará utilizando escala de 5 pulgadas [125 mm] o de 10 pulgadas [250 mm] respecto a la escala de la pantalla, según sea el caso. Sin embargo,

si estas escalas no permiten el completo barrido de la junta, se puede usar escalas de 15 y 20 pulgadas.

### **3.2.3.2. Procedimientos de inspección**

Una marca “X” debe ser marcada en la cara inspeccionada de la soldadura a lo largo de la discontinuidad existente. La distancia de localización debe estar basada en planos dimensionales, en detalle, y casi siempre cae en la superficie de la placa que llega perpendicular formando la junta en T y corresponde a la proyección sónica de la esquina soldada.

Una marca “Y” debe ser marcada representando el barrido que se haga alrededor de la línea X.

Todas las superficies donde se aplique barrido con el transductor deberán estar libres de chispas de soldadura, suciedad, grasa, aceite (excepto si se utiliza como un acoplante), pintura, y material suelto y deberá tener un contorno que permite el acoplamiento íntimo.

El material acoplante debe usarse entre el transductor y el material a ser inspeccionado. El acoplante deberá ser glicerina o goma de celulosa y agua. Aceite liviano de petróleo puede ser usado como acoplante sobre los patrones

### **Inspección de soldadura**

La soldadura debe ser inspeccionada utilizando un transductor angular que satisfaga los requerimientos de 6.22.7. del código, con instrumentos calibrados, y usando el ángulo determinado en la tabla 6.7 del código (Anexo I). Luego de la calibración, y durante la inspección, el único instrumento ajustable será el ajuste del nivel de sensibilidad, el resto de parámetros serán bloqueados ante el operador.

Todas las uniones soldadas deben ser probadas de ambos lados del eje de la soldadura. Las juntas en T y las esquinas deben ser inspeccionadas prioritariamente del lado del eje de la soldadura que permita que el camino

sónico atraviese el cordón de soldadura y detecte las discontinuidades posibles.

Cuando una indicación de discontinuidad aparece en la pantalla, el nivel de la máxima discontinuidad admisible debe mostrarse como nivel referencia horizontal. Este ajuste debe realizarse con el patrón y el equipo completo calibrado.

El “factor de la atenuación, c,” en el informe de inspección será obtenido restando 1 pulg. [25 milímetros] de la distancia del camino sónico y de multiplicando el resto por 2. Este factor será redondeado hacia al valor más cercano de  $d\beta$ . El valor de  $d\beta$  fraccionario menor de 1/2 será reducido al nivel más bajo del  $d\beta$  y a los del  $d\beta$  del 1/2 o de mayor, al nivel superior.

El “grado de la indicación, d,” en el informe de inspección ultrasónica, anexo M, forma M-11, representa la diferencia algebraica en decibelios entre el nivel de la indicación y el nivel de referencia con la corrección para la atenuación según lo indicado en las expresiones siguientes:

Instrumentos con aumento en el  $d\beta$ :

$$a - b - c = d$$

Instrumentos con atenuación en el  $d\beta$ :

$$b - a - c = d$$

La longitud de discontinuidades será determinada en conformidad con el procedimiento descrito en 6.31.2. del código

Cada discontinuidad será aceptada o rechazada en base de su grado de la indicación y de su longitud, en conformidad con la tabla 6.2 del código (Anexo D) para las estructuras estáticamente cargadas o la tabla 6.3 del código (anexo D) para las estructuras cíclicamente cargadas, cualquiera es aplicable. Solamente esas discontinuidades que son inaceptables necesitan ser registradas en el informe de prueba, salvo que para las soldaduras señaladas en los documentos del contrato como “fractura crítica,” los grados aceptables

que están dentro de 6 dB, inclusive, del grado inaceptable mínimo serán registradas en el informe de prueba.

Cada discontinuidad inaceptable será indicada en la soldadura por una marca directamente sobre la discontinuidad en su longitud total. el grado de profundidad desde la superficie y la indicación será marcada en el metal base adyacente.

Las soldaduras encontradas inaceptables por inspección ultrasónica serán reparadas por los métodos permitidos por 5.26 del código. Las áreas reparadas serán reexaminadas con ultrasonido con los resultados tabulados en la forma original (si está disponible) o formas adicionales del informe (resultados de re inspección de reparaciones).

La evaluación de las áreas reparadas reexaminadas de la soldadura será tabulada en una línea nueva en la forma del informe. Si se utiliza la forma original del informe, un R1, R2,... Rn prefijará el número de la indicación. Si se utilizan las formas adicionales del informe, la letra R prefijará el número del informe.

### **Preparación y disposición de informes**

El informe que identifica claramente el trabajo y el área de la inspección será llenada el formulario por el operador de ultrasonido a la hora de la inspección. La forma del informe para las soldaduras que son aceptables necesitan contener solamente la suficiente información para identificar la soldadura, el operador (firma), y la aceptabilidad de la soldadura. Un ejemplo de tal forma se demuestra en el anexo M, forma M-11 **del código**.

Antes de que una soldadura sometida a UT solicitada por el contratista para el dueño sea aceptada, todo el informe referente a la soldadura, incluyendo cualquier indicación que demuestra calidad inaceptable antes de la reparación, será sometido al inspector.

## **Calibración de la unidad de ultrasonido con patrón IIW u otros patrones aprobados de referencia (anexo H del código)**

### **Calibración de distancia**

- (1) El transductor se colocará en la posición G respecto al bloque de IIW.
- (2) El instrumento será ajustado para producir indicaciones a 1 pulg. [25 milímetros en un bloque métrico], 2 pulg. [50 milímetros en un bloque métrico], 3 pulg. [75 milímetros en un bloque métrico], 4 pulg. [100 milímetros en un bloque métrico], etc., en la pantalla.

### **Amplitud**

- (1) El transductor se colocará en la posición G respecto al bloque de IIW.
- (2) El aumento será ajustado hasta que la indicación maximizada a partir de la primera reflexión alcance una altura de pantalla de 50% a 75%.

### **Resolución**

- (1) El transductor se colocará en la posición F respecto al bloque de IIW.
- (2) El transductor y el instrumento resolverán las tres distancias.

La linealidad horizontal y la atenuación se regularán de acuerdo a 6.24.1 y 6.24.2 del código, respectivamente.

### **Modo de la onda del esquileo (transversal)**

El **punto de entrada** del sonido del transductor (punto de salida del haz desde el transductor) será situado o comprobado por el procedimiento siguiente:

- (1) El transductor se colocará en la posición D respecto al bloque de IIW.
- (2) El transductor será movido hasta que la señal correspondiente al radio sea máxima.

El punto en el transductor que alinea con la línea del radio en el bloque de la calibración es el punto de la entrada de los sonidos.

## **Ángulo.**

El ángulo del camino sónico del transductor será comprobado o determinado por uno de los procedimientos siguientes:

(1) El transductor se colocará en la posición B respecto al bloque de IIW para los ángulos 40° con 60°, o en la posición C respecto al bloque de IIW para los ángulos 60° con 70°.

(2) Para el ángulo seleccionado, el transductor será movido sobre la línea indicativa del ángulo del transductor hasta que la señal del radio sea máxima. El punto de entrada de los sonidos en el transductor será comprobado con la marca del ángulo en el bloque de la calibración ( $\pm 2^\circ$  de la tolerancia).

## **Procedimiento de la calibración de la distancia.**

El transductor se colocará en la posición D respecto al bloque de IIW (cualquier ángulo). El instrumento entonces será ajustado para lograr indicaciones en 4 pulg. [100 milímetros en un bloque métrico] y 8 pulg. [200 milímetros en un bloque métrico] o 9 pulg. [225 milímetros en un bloque métrico] en la pantalla; 4 pulg. [100 milímetros] y 9 pulg. [230 milímetros] en bloque del tipo 1; o 4 pulg. [100 milímetros] y 8 pulg. [200 milímetros] en un bloque tipo 2.

## **Procedimiento para la calibración de amplitud o sensibilidad**

El transductor será colocado en la posición A respecto al bloque de IIW (cualquier ángulo). Entonces la señal máxima será ajustada desde el agujero de 0.060 pulg. [1.59 milímetros] para lograr una indicación horizontal de referencia de altura.

## **Resolución**

(1) el transductor será colocado en la posición Q del bloque de resolución RC para el ángulo 70°, en la posición R para el ángulo 60°, o en la posición S para el ángulo 45°.

(2) El transductor y el instrumento resolverán los tres agujeros de la prueba, por lo menos al grado de distinguir los picos de las indicaciones de los tres agujeros.

#### **Distancia de acercamiento del transductor.**

La distancia permisible mínima entre la punta del transductor y el borde del bloque de IIW estará como lo descrito a continuación:

Para el transductor de  $70^\circ$ ,  $X = 2$  in. [50 mm]

Para el transductor de  $60^\circ$ ,  $X = 1-7/16$  in. [37 mm]

Para el transductor de  $45^\circ$ ,  $X = 1$  in. [25 mm]

#### **Procedimientos de la evaluación del tamaño de la discontinuidad**

##### **Prueba longitudinal con transductor recto.**

El tamaño de discontinuidades laminares no siempre se determina fácilmente, especialmente los que sean más pequeños que el tamaño del transductor. Cuando la discontinuidad es más grande que el transductor, una pérdida completa de reflexión trasera ocurrirá y una pérdida de  $6d\beta$  de amplitud y de medida a la línea central del transductor es generalmente confiable para determinar los límites de la discontinuidad.

Sin embargo, la evaluación aproximada del tamaño de esos reflectores, que son más pequeños que el transductor, será hecha comenzando fuera de la discontinuidad con el equipo calibrado en conformidad con 6.25.4 del código y moviendo el transductor hacia el área de la discontinuidad hasta que una indicación en la pantalla se comience a formar. El borde principal de la unidad de la búsqueda a este punto es indicativo del borde de la discontinuidad.

##### **Prueba de esquiileo con transductor angular**

El siguiente procedimiento será utilizado para determinar longitudes de las indicaciones que tengan grados de  $d\beta$  más serios que para una indicación de la clase D. La longitud de tal indicación será determinada midiendo la distancia entre las localizaciones de la línea central del transductor en donde la amplitud

del grado de la indicación cae el 50% ( $6 \text{ dB}$ ) debajo del grado para la clasificación aplicable de la discontinuidad.

Esta longitud será registrada bajo "longitud de la discontinuidad" en el informe de inspección. Este procedimiento será repetido para determinar la longitud de las discontinuidades de la clase A, B, y C.

### **Modelo de exploración en inspección para discontinuidades longitudinales**

Movimiento A: Es un ángulo de rotación de  $10^\circ$

Movimiento B: Es el movimiento en sentido perpendicular al cordón de soldadura capaz de inspeccionar todo el ancho del cordón en la platina.

Movimiento C: Es el movimiento repetitivo y pausado de avance longitudinal, y es cercano a la mitad del tamaño del transductor.

Los movimientos A, B y C deben ser combinados y consecuentes en el barrido con inspección ultrasónica.

Como anexos importantes a tomar en cuenta para inspección ultrasónica de estructura metálica se debe tener en cuenta principalmente los siguientes anexos, aunque es necesario tener presente todo el código para casos que no se ajusten a estas consideraciones

### **Anexo S**

Luego de revisar este anexo, se han recogido algunas observaciones que son útiles al momento de elaborar el procedimiento de inspección.

La aplicación de este anexo no es obligatoria si esto no se ha especificado en el contrato.

Como en la parte principal, se debe registrar todos los parámetros de inspección ultrasónica, así como la calibración del equipo.

Este anexo, permite y guía la inspección de material base y soldadura con espesores menores a  $5/8"$  o mayores a  $1"$ .

Si bien, la curva DAC es la misma para cada transductor, se trabajará con atenuaciones menores y escalas amplificadas en el caso de espesores menores, por lo que es necesario determinar la curva DAC para estas nuevas condiciones de inspección.

Los criterios de aceptación deben estar basados en los expuestos en la parte principal del código, pero además pueden ser ajustados de acuerdo a criterio de ingeniería.

### **3.3. Estudio de Norma AWS D1.3.**

Este código cubre la soldadura de arco de aceros estructurales, incluyendo los miembros conformados en frío (de aquí en adelante designados colectivamente hoja de acero) que sean menores o iguales a 3/16" en su espesor. (0.188" o 4.8 mm.).

#### **3.3.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END**

**Inspección visual.** Una soldadura será aceptable por la inspección visual, con tal que los cuatro de los criterios siguientes se resuelvan:

- La soldadura no tendrá ninguna grieta
- La soldadura tendrá refuerzo mínimo de 1/32 pulg. (1 mm) para todo el surco y punto del arco.
- Socavamiento. La longitud acumulativa de socavamiento no será mayor a L/8, donde está la longitud L especificada de la soldadura o en el caso de los puntos de soldadura del arco, la circunferencia, con tal que la fusión exista entre el metal de la soldadura y el metal base. La profundidad de socavamiento no es un tema de la inspección y no necesita ser medida. Los quemones son inaceptables.
- La superficie del cordón debe ser plana o ligeramente convexa.

- Conformidad con el documento del contrato. La localización, el tamaño, y la longitud de la soldadura estarán en conformidad con los dibujos u otros requisitos del documento del contrato.

Este código no contempla inspección de soldadura con END diferentes a inspección visual.

### **3.4. Estudio de Norma AWS D1.5.**

Este código está estructurado de una forma muy similar a como se encuentra organizado AWS D1.1, con sus debidas diferencias, pues está orientado hacia la soldadura de puentes metálicos. Tiene que ser usado en referencia a normas AASHTO y AASHTO LRFD de diseño estructural de puentes.

Este código no está redactado para usarlo con:

- 1) Aceros con un límite mínimo de elasticidad de 690 MPa [100Ksi]
- 2) Recipientes o tubería a presión
- 3) Metales base diferentes a aceros al carbón o de baja aleación.
- 4) Las estructuras integradas por tubería para fabricación estructural o de los componentes tratados no específicamente por este código serán realizadas en conformidad con las provisiones especiales del contrato o en conformidad con los directorios escritos del ingeniero que puede elegir referirse a un estándar aplicable alterno de soldadura.

El código está organizado de la siguiente manera:

El Capítulo 1 intitulado “Provisiones Generales”, describe la aplicación, los requerimientos del metal base, los procesos de soldadura que intervendrán, requerimientos del fabricante, símbolos utilizados, recomendaciones de seguridad, unidades de medida, WPS’s, pruebas mecánicas y documentos de referencia.

El Capítulo 2 profundiza en el diseño de la junta soldada y consta de tres partes: A, B y C.

La parte A define los requerimientos generales como los planos, definición de áreas soldadas efectivas, así como longitudes, tamaños y unidades de esfuerzo básicas.

La parte B define los detalles estructurales como las juntas a tope y de ranura. La parte C especifica los detalles de soldadura como la calificación de la junta en sus variadas geometrías y disposiciones.

El Capítulo 3 trata sobre los operarios y operadores de soldadura, sus procedimientos en la preparación de la junta, en tratamiento de insumos y equipos, y las actividades complementarias.

El Capítulo 4 describe a detalle cada una de las técnicas de soldadura aplicable a la construcción de puentes además de criterios aplicables antes y después de la soldadura, así como de ciertos requerimientos.

El capítulo 5 trata sobre la calificación y cualificación del metal base, el metal de aporte, el procedimiento de soldadura, el operario u operador de soldadura y otros parámetros susceptibles de calificación dentro del proceso de soldadura, dentro de ellos interviene también la inspección con END.

El Capítulo 6 que es de mayor interés para este trabajo será desarrollado a continuación. Trata sobre la inspección a realizarse en la soldadura y describe procedimientos de forma similar a como lo hace en AWS D1.1 con sus debidas diferencias que se estudiarán profundamente, a continuación en los criterios de aceptación y rechazo.

El Capítulo 7 reglamenta la soldadura de pernos, es decir sus requerimientos, propiedades mecánicas, técnica, etc.

El Capítulo 8 trata sobre estructuras cargadas estáticamente, el capítulo 9 menciona ciertas regulaciones de normas AASHTO para puentes metálicos soldados y el capítulo 10 trata sobre estructuras tubulares, aclarando que no aplican a este código.

El capítulo 11 define reparación de estructuras existentes que no aplican a este código y el capítulo 12 trata sobre el plan de control de fractura para miembros no redundantes.

Adicionalmente se encuentran en el código varios anexos a los que se hacen referencia en los distintos capítulos y son generalmente excepciones a lo descrito generalmente en ellos.

### **3.4.1. Criterios de aceptación-rechazo descritos en el código, aplicables a END**

Dentro del capítulo 5 del código se requiere obtener especímenes para pruebas mecánicas que se obtienen de una placa, que será radiografiada, no deben existir discontinuidades con excepción de porosidades admisibles para la prueba. Las partes que se marquen como descartadas, no están sujetas a la prueba o a la inspección.

En el capítulo 6 existen también requerimientos de END para inspección de soldadura

La inspección radiográfica o de ultrasonidos de la soldadura será realizada en conformidad con los siguientes requisitos de frecuencia:

(1) Ciento por ciento de cada junta conforme a la tensión calculada o revocación de la tensión, excepto en las soldaduras de juntas de extremo verticales en vigas o alma de la viga, como sigue:

(a) 1/6 de la profundidad del alma, comenzando en el punto, o los puntos, de tensión máxima, y

(b) 25 por ciento del resto de la longitud del alma necesita ser probados.

(c) Si se encuentran discontinuidades inaceptables en (a) o (b), el resto de la soldadura debe ser probada.

(2) Veinticinco por ciento de cada junta conforme a la compresión o esquileo, o, en la opción del contratista, 25 por ciento de las juntas del total conforme a la compresión o esquileo.

Cuando se selecciona el último, las juntas probadas serán distribuidas a través del trabajo y sumarán por lo menos 25 por ciento de la longitud de la soldadura de la compresión o del esquileo.

(a) Si las discontinuidades inaceptables se encuentran en el punto que prueba, la longitud entera será probada.

(b) Si las discontinuidades inaceptables se encuentran en 20 por ciento o más en una porción de las juntas en compresión, se deberá inspeccionar la totalidad de la porción.

(c) Una porción está definida como aquellas sometidas a compresión o tensión, o ambas, que han sido soldadas de acuerdo al mismo procedimiento de soldadura y probadas con END.

(d) Salvo especificación de lo contrario en los documentos del contrato, los requisitos antedichos no se aplican a las juntas de extremo longitudinales en alma de la viga o de la viga.

(3) Los requisitos para la inspección radiográfica o con ultrasonidos se aplicarán igualmente a las soldaduras de la planta y de campo.

Los criterios de aceptación de este código se encuentran tabulados en la tabla 6.3. y 6.4. (anexo J) en cuanto a ultrasonido.

Para inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas los criterios de aceptación se encuentran expuestos en la parte 6.26. del código, mientras que en similitud con el código de soldadura AWS D1.1., los criterios de aceptación para ultrasonidos se exponen en la tabla 6.3. y 6.4. y para radiografía industrial en la figura 6.8. y 6.9. del código.

## **CAPITULO 4**

### **ESTUDIO DEL MERCADO Y ORGANIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN CON EL USO DE END**

#### **4.1. Empresas dedicadas a la construcción de estructura metálica**

Las empresas dedicadas a la construcción usan no solamente la construcción tradicional de concreto sino también la construcción mixta con prefabricados de estructura metálica. En la provincia de Pichincha existen varias industrias dedicadas a la construcción de estructura metálica, y todas estas están reguladas por la Superintendencia de Compañías, estando las más grandes afiliadas a Fedimetal (Federación de Industrias Metalmeccánicas) o registradas por esta institución.

Las empresas dedicadas a la construcción de estructura metálica en Quito listadas en el Anexo K son las que se encuentran en el directorio de industrias metalmeccánicas de Fedimetal, y a algunas de estas empresas se le ha realizado la encuesta mostrada en el Anexo L para conocer algunos aspectos técnicos de dichas empresas.

##### **4.1.1. Corrimiento de encuesta para potenciales clientes de INENDEC**

#### **Tabulación de Datos**

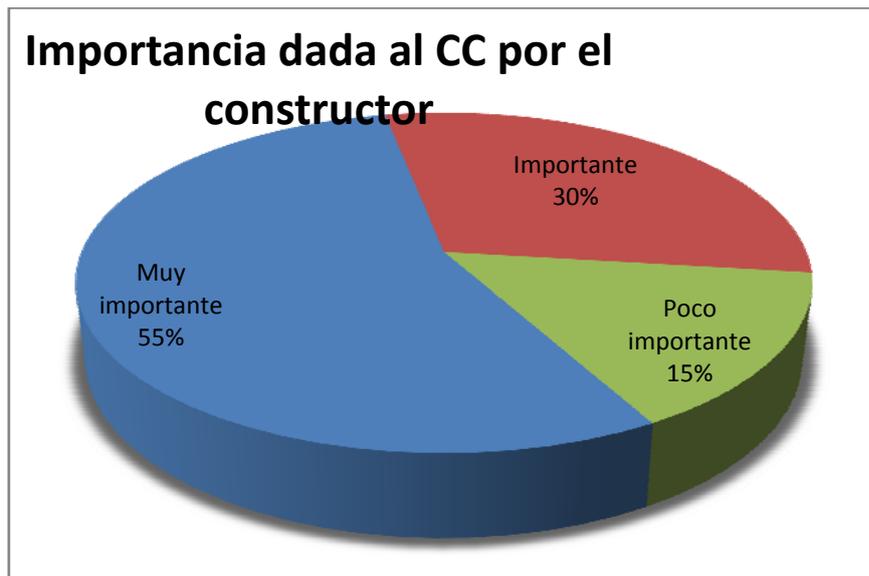
##### **PREGUNTA N° 1**

*Nombre de la empresa.* En esta pregunta se registra el nombre de la empresa a la que se le realizó la encuesta, para esto se procedió de manera telefónica y se hizo el contacto con el representante técnico a cargo de cada empresa.

## PREGUNTA N° 2

*¿Qué importancia le da al control de calidad de la soldadura dentro del proceso de producción de elementos estructurales y montaje en su empresa?*

Pregunta realizada para cuantificar la posible demanda del servicio de inspección no destructiva como parte del control de calidad de elementos estructurales soldados.

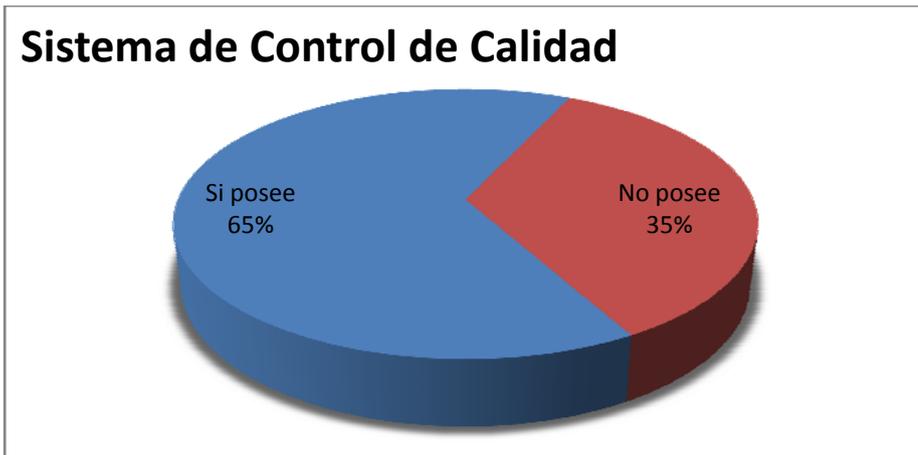


**Gráfico 4.1:** Representación de los valores tabulados para la importancia dada por el constructor de estructura metálica al Control de Calidad.

## PREGUNTA N° 3

*Posee en su empresa un sistema de control de calidad para la soldadura?*

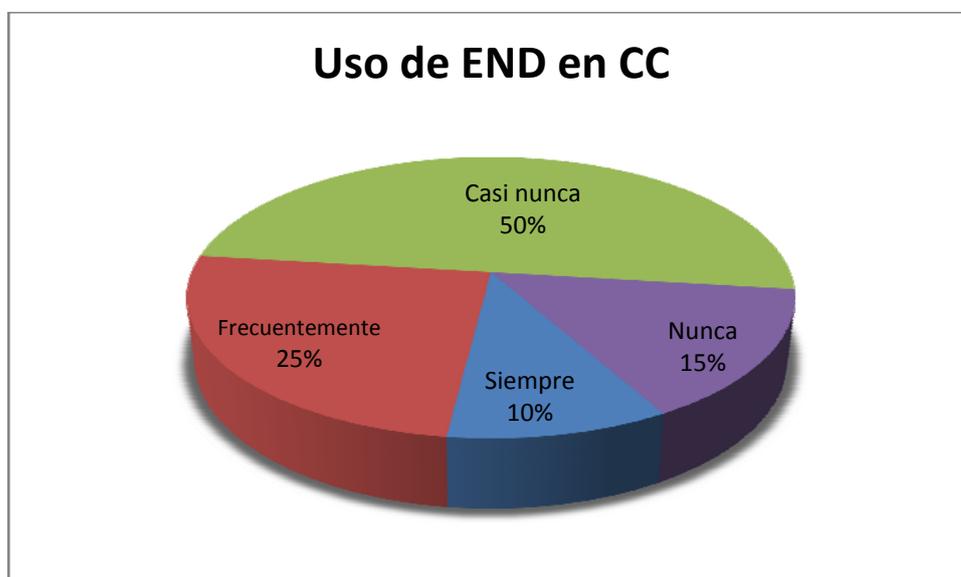
Pregunta realizada para conocer si la inspección de soldadura se la realiza de forma interna o externa a la empresa.



**Gráfico 4.2:** Representación de los valores tabulados para la implementación de un Sistema de Control de Calidad.

#### PREGUNTA N° 4

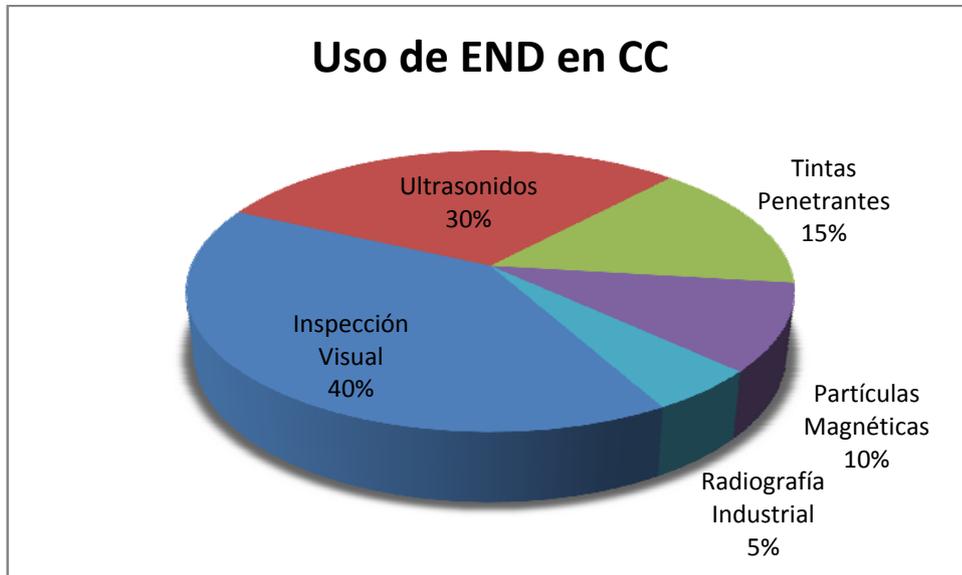
*Utiliza su empresa inspección mediante END?* Pregunta realizada para cuantificar el uso de Ensayos no Destructivos en el proceso de Control de Calidad de soldadura en estructura metálica.



**Gráfico 4.3:** Representación de los valores tabulados para el uso de Ensayos no Destructivos en el Control de Calidad

## PREGUNTA N° 5

Que END's aplica su empresa en el Control de Calidad? Para las empresas que en la pregunta 3 respondieron Casi nunca, Frecuentemente y Siempre.



**Gráfico 4.4:** Representación de los valores tabulados para los métodos de END utilizados comúnmente.

## PREGUNTA N° 6

Que empresas han prestado el servicio de inspección con END y en que técnicas? Esta pregunta se la realiza para conocer la cobertura de empresas que en competencia, ofrezcan servicios que presta INENDEC S.A.

	IV	US	TP	PM	RI	%
<b>NDT</b>		X	X		X	5
<b>ENDE</b>	X	X	X	X	X	10
<b>INTERINSPEC</b>					X	5
<b>INENDEC</b>	X	X	X	X		50
<b>Ing. Avilés</b>		X			X	25
<b>Otros</b>	X					5

**Tabla 4.1:** Representación de los valores tabulados para las empresas oferentes de inspección por END y métodos utilizados.

#### **4.1.2. Evaluación de resultados**

Un 15% de las constructoras de estructura metálica encuestadas considera que el control de calidad de la soldadura no es importante dentro de la calidad de sus construcciones. Esto regularmente se debe a un concepto errado que existe entre constructores civiles respecto a la estructura metálica y a la soldadura de la misma, que no es enfocado desde el punto de vista del diseño de elementos, sino más bien de la resistencia de miembros estructurales en las normas de construcción manejadas por personas vinculadas con la construcción.

El grupo de empresas descrito anteriormente esta dentro de un grupo mayor (35%), que no posee un sistema de control de calidad. Está acompañado de otras empresas que, si bien consideran importante el control de calidad, no poseen un sistema para el CC, sino que realizan pruebas esporádicas de acuerdo a necesidades aleatorias, como ciertas regulaciones de construcción, peticiones por parte de fiscalizadores de obra, etc.

Un 65% de constructores en estructura metálica no tienen como política para el CC el uso de END, sino que, si realizan control de calidad, lo hacen con pruebas destructivas, inspección visual no calificada, o, simplemente no la hacen. El 35% complementario si tiene cierta política de control de calidad por muestreo y usa de END propios o externos, siendo los últimos los que generan una real posibilidad de mercado para INENDEC S.A.

Para el grupo que si realiza control de calidad con END, frecuentemente y siempre, se ha determinado que los métodos más utilizados de inspección no destructiva son ultrasonidos, inspección visual y tintas penetrantes, cubriendo con ellos un 85% de las pruebas efectuadas, mientras que el ensayo de partículas magnéticas solo cubre un 10% y de radiografía industrial un 5%. Esto se debe a que los métodos de menor cobertura son menos versátiles y en el caso de RI conlleva un riesgo que solo se puede controlar en el caso de soldadura en planta, mas nunca en montaje.

La última interrogante describe, dentro de las empresas encuestadas, a quienes prestan servicios de inspección mediante END, su cobertura y sus métodos utilizados. Colocando a INENDEC S.A. en un lugar aceptable con un 50% de la muestra, por cuanto, estas empresas también enfocan su campo de acción no solamente en el sector de construcción de estructura metálica.

Es importante señalar que se ha escogido encuestar a las empresas constructoras con estructura metálica que posean varios años en el mercado y hayan tenido a cargo obras de significativo volumen, tales como Edificios de más de 10 niveles y con grandes zonas de parqueo subterráneo, galpones de luz muy amplia, etc. donde se justifique un Control de Calidad exhaustivo.

#### **4.2. Evaluación de Información sobre oferentes de servicios**

La inspección de juntas soldadas de elementos estructurales metálicos de acero no es cubierta de forma adecuada y no se realiza en la totalidad de las construcciones con este tipo de estructura, sino más bien, una reducida fracción de edificaciones la utilizan.

La oferta del servicio de inspección en este sector también resulta escasa y la información de la misma no está difundida entre los fiscalizadores de construcciones metálicas.

Los oferentes de este servicio, en su mayoría, enfoca su acción en otras áreas de inspección de soldadura y material, descuidando de cierta manera la cobertura y difusión de esta aplicación de END.

Los oferentes representativos en la ciudad de Quito, mencionados en la tabla 4.1, son los que poseen mayor experiencia en END, pero pocos revisan lo que las normas de construcción de estructura metálica estipulan respecto a estos ensayos en evaluación de soldadura.

INENDEC SA debe aprovechar las condiciones actuales del mercado de servicio de inspección de soldadura de elementos estructurales en la ciudad de

Quito, con estrategias de mercadeo, concientización de la importancia del CC de la soldadura hacia los constructores y fiscalizadores de obra, mayor contacto con el sector de manufactura de estructura metálica y difusión de la información respecto al servicio.

### 4.3. Estudio de precios

#### 4.3.1. Precio dado por el mercado interno

El precio de cada tipo de ensayo varía en cuanto a los insumos, preparación previa, tiempo de realización, etc. por parte interna, y varía por la cantidad de soldadura evaluada, volumen de la obra, presupuesto para control de calidad del proyecto, etc. por parte del demandante del servicio.

INENDEC SA en promedio posee una lista de precios que se ha ajustado de acuerdo a parámetros ya mencionados.

Ensayo de Inspección	Fijo	Variable
Ultrasonidos	150 USD/día	0
Tintas Penetrantes	100 USD/día	2 USD/m
Inspección Visual	75 USD/día	0
Partículas Magnéticas	100 USD/día	2 USD/m
Radiografía Industrial	350 USD/día	4 USD/m

**Tabla 4.2** Listado de precios en INENDEC SA.

La inspección por medio de ultrasonidos y de forma visual, posee únicamente costos fijos, marcándose una diferencia entre los métodos por su capacidad de diagnóstico, siendo más específico en la detección de fallas el método volumétrico de ultrasonidos.

El precio del control de calidad, con el uso de Tintas Penetrantes y Partículas Magnéticas está compuesto por una parte fija por día de trabajo y una parte variable que depende de la longitud de la soldadura inspeccionada. Esto es

debido a que los insumos utilizados en estos ensayos tienen un precio significativo que afecta al precio en función de la cantidad de inspección.

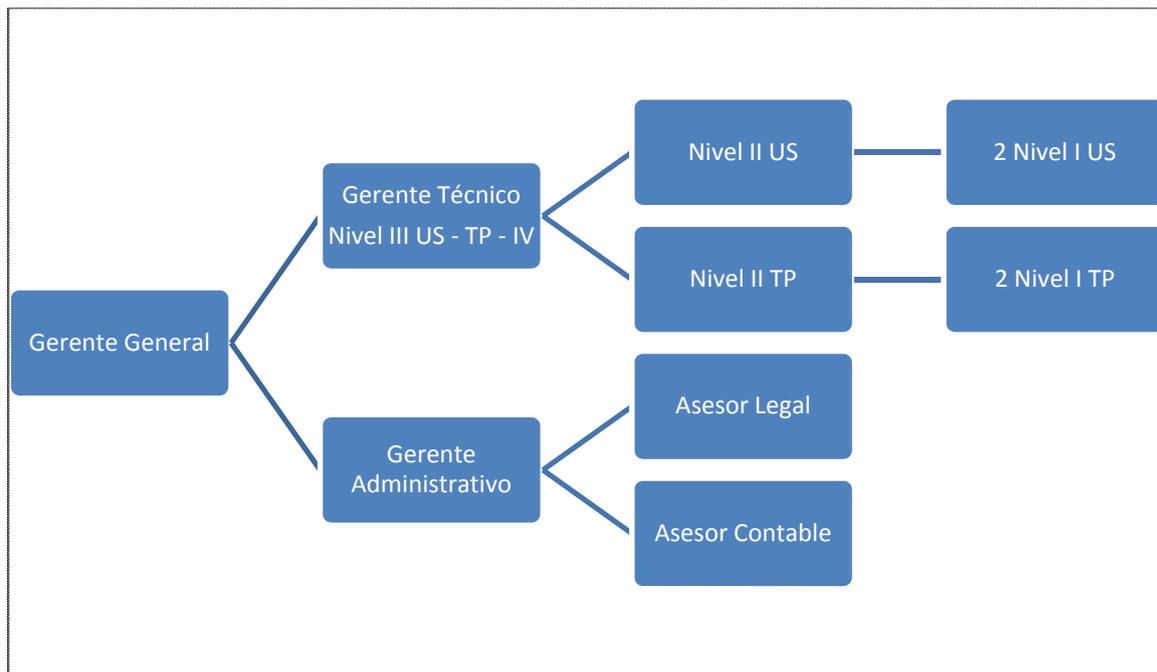
De la misma forma, el precio de la inspección con radiografía industrial está compuesto de una parte fija y otra variable, ambos de mayor monto dado por la utilización de una fuente de rayos X o Gamma, los riesgos que el uso de este ensayo implican, la necesidad de mejor capacitación de personal, etc., así mismo los insumos utilizados para este ensayo, tales como película radiográfica, reactivos de revelado, etc. resultan más costosos y elevan el precio de acuerdo a la longitud de soldadura inspeccionada.

Estos precios han resultado competitivos de acuerdo al desempeño de la compañía hasta el día de hoy, y dan preferencia a ensayos más seguros como tintas penetrantes y ultrasonidos y reduciendo la demanda de métodos más riesgosos como Radiografía Industrial. Precios más altos resultarían en la inmediata pérdida de clientes, puesto que otros competidores que, aunque no posean la formación técnica adecuada, se dedican a realizar estas pruebas a precios bajos.

#### **4.4. Organización administrativa del sistema.**

Se prevé en primera instancia que la compañía estará conformada por un Gerente General, un Gerente Técnico y un Gerente Administrativo, y personal de apoyo como asesor contable y asesor legal.

Las unidades de ejecución estarán conformadas por un inspector nivel II y dos operadores nivel I, suficientes para una jornada de inspección con un método.



**Gráfico 4.5** Organigrama previsto para la empresa INENDEC SA

El Gerente General tendrá a cargo coordinar en conjunto las labores de las gerencias a su cargo, la consecución de contratos, el mercadeo del servicio, las relaciones públicas de la empresa y la representación legal de la misma.

El gerente técnico Nivel ASNT III se encargará de la selección del método a aplicarse, de la elaboración de procedimientos de inspección, se encargará de entrenamiento y calificación del personal Nivel ASNT II y Nivel ASNT I, se encargará de la logística y coordinación de la ejecución del servicio de inspección de cada unidad, como transporte, alimentación, e instalación del personal.

El Gerente Administrativo se encargará de los salarios de cada empleado, de los tributos de la empresa y de la situación laboral de todas las personas a cargo de la misma, con la ayuda de sus asesores, aseguramiento de equipos, instalaciones, unidades, etc.

El Nivel II comandará la unidad ejecutora y se encargará de dirigir en obra la acción de los ejecutantes Nivel I, de calibraciones de equipos, de la recolección de datos arrojados por los ensayos, evaluará dichas indicaciones y elaborará

de un informe previo a la firma del Gerente Técnico. Además con un conocimiento mayor, será el apoyo del operador Nivel I en caso de dudas o situaciones singulares que se presenten.

El operador Nivel I será quien realice el ensayo de acuerdo a lo que el supervisor Nivel II indique, y registrará en sitio, indicaciones de discontinuidad, en caso de duda, este comunicará a su supervisor la misma para hallar una solución. No está capacitado para situaciones respecto a sus calificaciones y los métodos de las mismas.

#### **4.5. Equipamiento mínimo necesario para END**

En general para la mayoría de ensayos, sino son todos, es necesario equipo de protección personal tal como arneses de seguridad, vestimenta industrial, Zapatos resistentes con punta de acero, cascos, guantes de cuero, pantallas protectoras, etc. Además es también necesario instrumentos auxiliares como escaleras, extensiones eléctricas y equipo de limpieza como por ejemplo cepillos circulares de alambre accionados por amoladora portátil, solventes, etc.



**Fig. 4.6.** Uso de Equipo de seguridad en trabajo de campo

Para realizar la inspección de soldadura estructural por medio de Ultrasonidos es necesario el Equipo de Ultrasonido tipo A-Scan, transductores angulares de 45°, 60° y 70° que son los más comunes y acoplante.



**Fig. 4.7.** Equipo de ultrasonido con transductor angular de 70°

Para realizar la inspección de soldadura estructural por medio de Líquidos Penetrantes es necesario el kit completo que consta de Tinta Penetrante, Líquido Limpiador y Revelador, además de paños de algodón y solvente para retirar pintura.

Para realizar la inspección de soldadura estructural por medio de Partículas Magnéticas es necesario una cantidad de al menos 100g de partículas magnéticas por metro de soldadura a inspeccionar o en su defecto la suspensión de partículas magnéticas en medio líquido o en forma de espray, un yugo magnético portátil de patas fijas o móviles, y, en caso de que las partículas magnéticas sean fluorescentes, una lámpara de luz negra y un toldo oscuro que impida el paso de luz natural.

Para realizar la inspección de soldadura estructural por medio de Radiografía Industrial es necesario un equipo de rayos X que será estático para pruebas en planta o uno de rayos gamma portátil para pruebas en campo, la cantidad suficiente de película radiográfica para la inspección, caracteres de plomo para la identificación de la junta, reactivos suficientes para revelar las placas tomadas y un cuarto oscuro donde realizar el proceso de revelado.

## **4.6. Personal técnico**

### **4.6.1. Calificación del personal**

El personal destinado a realizar estos ensayos debe poseer una formación técnica y tener conocimiento teórico específico de cada ensayo. Debe conocer el fenómeno, limitaciones y alcance de cada ensayo, debe saber en la práctica el método de aplicación, debe estar al tanto del manejo y operación de equipos y debe estar acorde con los procedimientos que, en el capítulo respectivo de este trabajo, se hallan elaborados.

### **Personal que labora en END**

La mayoría de las normativas internacionales poseen un esquema semejante en lo referente al personal que labora en END, y a su certificación, existen como es natural algunas diferencias en lo referente a los requisitos para certificación, pero en aspectos generales son coincidentes, estos aspectos se podrían resumir.

### **Personal Nivel ASNT I**

Personal capacitado para operar equipos y realizar ensayos correspondientes al método para el cual se lo ha certificado. Desarrollará sus tareas bajo instrucciones escritas, con supervisión de personal de nivel superior.

Entre sus funciones se incluyen:

- Ejecutar todo el procedimiento de ensayo hasta la entrega de datos.
- Mantenimiento y control rutinario de equipos.
- Preparación de materiales y accesorios.
- Identificación de material defectuoso.
- Cumplir con las normas de seguridad para equipos y personas.

Entre las atribuciones podrá suspender el ensayo cuando fallaren los equipos, no hubiere supervisión o las instrucciones fueren insuficientes.

## **Personal Nivel ASNT II**

Personal capacitado para realizar y dirigir ensayos correspondientes al método para el cual se lo ha certificado. El personal de este nivel estará familiarizado con el alcance y las limitaciones del método. Entre sus funciones se incluyen.

- Supervisar y/o realizar ensayos.
- Dirigir y controlar el trabajo asignado al personal de Nivel I.
- Seleccionar equipos y técnicas de ensayo.
- Preparar por escrito las instrucciones para el personal de Nivel I.
- Puesta a punto y calibración de equipos.
- Interpretar y evaluar resultados de acuerdo con códigos, normas y especificaciones aplicables.
- Emitir y firmar los informes técnicos correspondientes.
- Instruir y entrenar al personal.

Entre las atribuciones, no autorizará la realización de un ensayo cuando haya falta de códigos, normas o especificaciones de referencia, no este certificado en el método de examen y el equipo no cumpla los requisitos del ensayo.

## **Personal Nivel ASNT III**

Es el personal capacitado para establecer las técnicas, interpretar especificaciones, normas y códigos a nivel de Ingeniería. Su formación le permitirá establecer especificaciones y procedimientos de ensayo, analizar, interpretar y discutir la validez de los resultados. Poseerá sólida formación en END y suficientes conocimientos sobre aplicaciones, alcances y limitaciones de los demás métodos de END, usuales.

Entre las funciones se incluyen:

- Seleccionar el o los métodos a emplearse.
- Determinar para cada caso la técnica y procedimiento adecuado.

- Supervisar todas las tareas necesarias para la realización de los ensayos con el nivel de calidad requerido.
- Asegurar el cumplimiento de códigos, normas y especificaciones.
- Capacitar, instruir, dirigir y controlar al personal de nivel inferior.
- Organizar y diseñar laboratorios.

Entre las atribuciones establecerá las condiciones de aceptación o rechazo, decidirá sobre la validez de los resultados, respecto del método y técnica utilizados en relación con el espécimen.

En lo referente a requisitos de educación, formación y experiencia, la norma según su procedencia puede variar.

Para calificar al personal se debe seguir las prácticas recomendadas por la Sociedad Americana de pruebas No destructivas descritas en el código ASNT TC 1A y esta debe ser dada por personal de nivel superior.

Los candidatos a ser calificados deben tener suficiente experiencia teórica y práctica de al menos 2 años en la aplicación de cada método y adicionalmente poseer una formación técnica o ingenieril.

## **CAPITULO 5**

### **ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN CON END**

#### **5.1. Elaboración de procedimiento de inspección TIPO**

Un procedimiento de ensayo no destructivo es el método más adecuado para describir sistemáticamente las etapas y secuencia de ejecución del ensayo. El uso de un procedimiento escrito es una garantía de que el ensayo va ejecutarse de la misma manera cada vez que éste sea ejecutado.

En el presente capítulo se desarrollan los procedimientos de inspección no destructiva aplicados a la inspección de soldadura en estructura metálica, los métodos más aplicados para cada tipo de juntas soldada han sido mencionados en los capítulos anteriores, por tanto, se desarrollan procedimientos empleando los métodos de: radiografía industrial, ultrasonidos, partículas magnéticas y líquidos penetrantes. Estos procedimientos son utilizados en el trabajo experimental de diferentes juntas soldadas para verificar su validez y aplicación.

Es importante señalar que los procedimientos son desarrollados en base a las normas y criterios anteriormente mencionados y a formatos estandarizados por ISO 9000.

##### **5.1.1. Esquema general de un procedimiento escrito**

Un procedimiento de inspección mediante el uso de los ensayos no destructivos contiene los siguientes puntos:

##### **Tema**

Se refiere al método de ensayo no destructivo utilizado, a la técnica particular de inspección a emplearse en cierta pieza, material o cordón de soldadura.

## **Objetivos**

Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento. Los generales se refieren al objetivo del ensayo. Mientras que los particulares se refiere a la técnica a utilizar, dimensiones y tipo de pieza a ensayar, etc.

## **Alcance**

Define lo que el ensayo va a evaluar y sus limitantes, los materiales, las dimensiones, sitios de soldadura donde se realiza este procedimiento, etc.

## **Información General**

En este punto se indica la información del cordón de soldadura a ensayar, como su proceso de soldadura, configuración, estado actual, dimensiones, identificación, etc. así como la extensión del ensayo a aplicarse, la cual puede ser parcial o total, y la sensibilidad deseada del método. También se debe añadir una definición del ensayo utilizado, así como su terminología.

## **Documentos de referencia**

Se refiere a todos los documentos que apoyen al ensayo e inspección, los cuales pueden ser: normas, códigos, criterios o recomendaciones, utilizados para preparar el procedimiento de inspección.

## **Personal - Responsabilidades**

En este punto se debe determinar el nivel de preparación del personal a operar y trabajar en el desarrollo del ensayo no destructivo, el mismo que debe tener su calificación y certificación correspondiente. Además se detalla las responsabilidades de cada uno.

## **Equipos y materiales**

Se debe indicar todo el equipo y materiales a emplearse en el ensayo, como: instrumentos, accesorios, etc., Los cuales deben tener sus respectivas especificaciones del fabricante e identificaciones.

## **Procesos**

Se debe mencionar la secuencia del ensayo y la técnica del mismo, en forma detallada, desde el inicio hasta el final del ensayo, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento.

## **Normas de aceptación rechazo**

En este punto se mencionan todas las normas y criterios emplearse para la evaluación de los resultados del ensayo, las cuales servirán para determinar si las indicaciones encontradas deben considerarse como defectos y de esta manera poder dictaminar su aceptación o rechazo. Para este conjunto de procedimientos los códigos que dictaminen los criterios de aceptación son AWS D1.1. y D1.5.

## **Informe**

Toda información que se obtenga en el transcurso de la inspección debe ser registrada para ser entregada al cliente o solicitante del servicio. Este informe debe contener entre otros aspectos lo siguiente:

- Fecha y lugar de inspección
- Identificación y referencias de la pieza
- Técnica empleada
- Equipos y materiales empleados
- Condiciones de trabajo
- Resultados del ensayo
- Firmas de responsabilidad

Además es recomendable contar con evidencia de las indicaciones obtenidas y es indispensable registrar las correspondientes firmas del personal responsable.

## 5.2. Procedimiento escrito para inspección con Radiografía Industrial RI

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 1 de 9</b>

### Objetivo

El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección radiográfica de soldadura de estructura metálica

La inspección radiográfica se utiliza para la detección de discontinuidades internas en el cordón de soldadura.

### Alcance

Se utiliza inspección por medio de radiografía industrial en soldaduras de estructura metálica prefabricada tipo ranura, accesibles por ambos lados, con en secciones de longitudes de hasta 30cm.

Este procedimiento se efectúa en soldadura estructural que aplique los códigos AWS D1.1. – D1.5. y se realiza únicamente cuando los requerimientos de seguridad radiológica e industrial se puedan cumplir.

### Información General

- El método radiográfico se basa en la información teórica de radiología industrial: ASME V art 2, manuales de END, y manuales y diagramas de operación del equipo: Balteau 200Kv-10mA.
- Las tomas a realizarse en cada junta soldada se especifican en el pre-registro/informe para inspección con radiografía industrial.

### Documentos de referencia

Los documentos y códigos de referencia a utilizarse son los siguientes:

Código a ASME sección V: subsección A

Código AWS D1.1, D1.5

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial – Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 2 de 9</b>

### **Personal**

El personal que evalúa las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo debe ser calificado nivel II o III, mientras que la persona que realice el ensayo y registre datos debe ser calificado nivel I y trabajar con la supervisión de un nivel superior, la calificación del personal está dictaminado por la norma nacional INEN ISO 9712-2009:03.

### **Equipos y materiales**

Los equipos emplearse para el ensayo radiográfico son los siguientes:

a) Equipo de rayos X

Marca: Balteau®

Modelo: 200Kv-10mA

Ángulo del haz: 40°

b) Película radiográfica

Especificación: ASTM tipo 2

Pantallas de plomo: Anterior 0,030mm Posterior 0,030mm

Características: ancho 70mm, rollpack (funda con pantallas de plomo)

c) Bunker

Dimensiones: 2,5m x 2,5m

Espesor de pared: 35 cm de hormigón

Espesor de puerta: Estructura de acero con láminas de 6mm de plomo

Radiación filtrada: máxima de 0,1 mR/h

d) Equipo de procesamiento

4 Bandejas plásticas para revelado manual de 20cm x 30 cm

Tipo de luz de seguridad: roja, Marca: Kodak®, Denominación: filtro 6B

Cronómetro

Revelador: A Jobeco RX1

Fijador: A Jobeco FX1

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 3 de 9</b>

- e) Equipo de interpretación y evaluación  
Negatoscopio: 200luxes@10 cm de pantalla
- f) Accesorios de control de calidad  
Densitómetro de películas: X-rite Comp. Mod: 301  
Indicadores de calidad de imagen: de hilos ASTM B (ASTM SE147 fig. 3)  
Letras de identificación de plomo: tamaño mínimo ¼”
- g) Equipo de seguridad  
Indicador de radiación: luz de alerta roja, Victorin 492 (0-900mR/h)  
Dosímetro: de película marca Kodak®
- h) Documentación  
Criterios de aceptación del código aplicable (AWS D1.1 – D1.5.)  
Guía/plano de referencia de nomenclatura de soldadura

## Procesos

### Cálculos de exposición

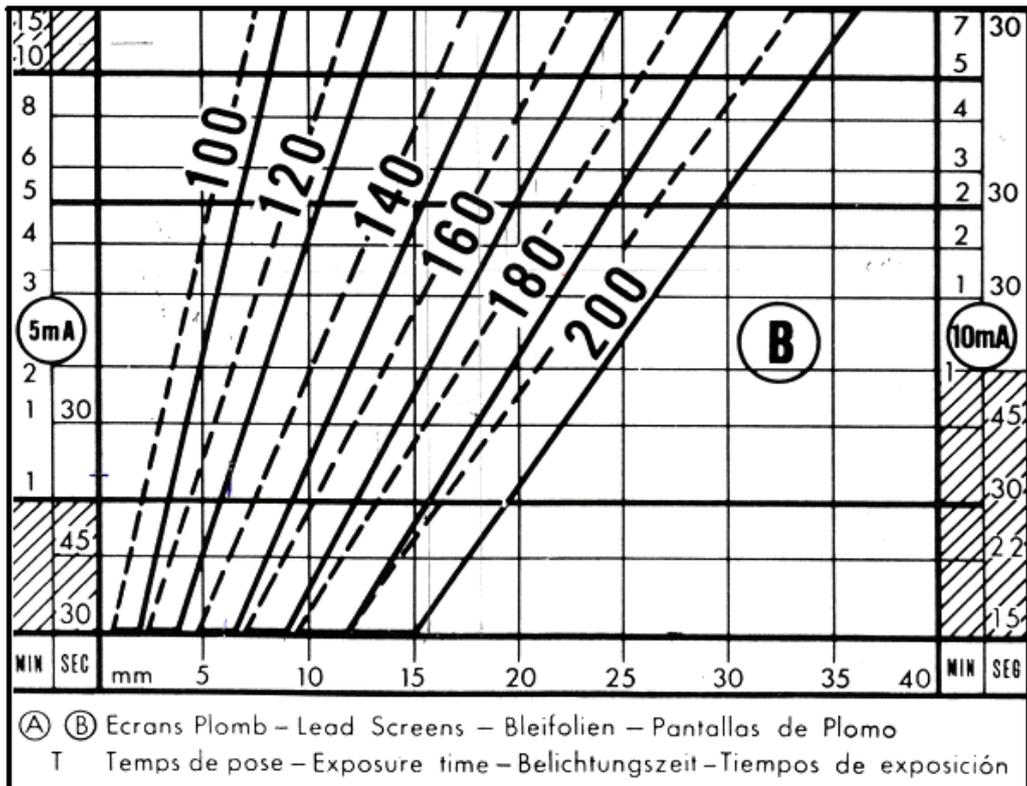
- Se determina una mínima distancia foco película considerando la penumbra geométrica:

Donde:

- $DFP_{max}$ : distancia mínima al fuente objeto
  - F: tamaño del foco
  - e: espesor a radiografiar
  - $Ug_{max}$ : penumbra geométrica
- Se seleccionan el kilovoltaje, intensidad y tiempo de exposición:

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial – Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 4 de 9</b>

- El equipo posee un gráfico de exposición, este indica las variables de kilovoltaje, intensidad, y espesor a radiografiar. Se ingresa al gráfico con el espesor del material y se selecciona el kilovoltaje, con una corriente de 5 mA, que es la mitad de la corriente nominal. Con esto se obtiene el tiempo de exposición calculado.



DENSIDAD		PELÍCULA		DISTANCIA	
N = 1	fn = 1	<b>Gevaert Structurix</b>		35 cm (14")	fd 0.25
N = 1.5	fn = 1.6	D10 fp 1	D7 fp 1	50 cm (20")	fd 0.5
N = 2	fn = 2.2	D7 fp 4	D4 fp 3.7	70 cm (27.5")	fd 1
N = 2.5	fn = 3	D4 fp 15	D2 fp 15	100 cm (40")	fd 2
		A	B	140 cm (55")	fd 4
				200 cm (80")	fd 8.8

**Figura 5.1.** Diagrama de operación de equipo de rayos X, laboratorio de END

Este tiempo de exposición debe corregirse de acuerdo a los siguientes factores:

fn, fp, fd.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 5 de 9</b>

**Densidad (fn)**, la cual se recomienda entre 1.5 a 4.0 según la norma ASTM E 1030. Se toma una densidad de 2.0, y en el gráfico 5.1 se verifica que le corresponde un factor de 2.2.

**Tipo de película (fp)**, Este factor es proporcionado por el fabricante de la película en la información del producto.

**Distancia fuente película (fd)**, del gráfico de exposición se tiene el factor de la distancia, este generalmente es de 0.5 que corresponde a una distancia fuente película de 50 cm., dentro del rango usual de radiografiado.

Entonces el tiempo de exposición será:

$$t_{exp} = t_{calc} \cdot fn \cdot fp \cdot fd$$

#### Recaldeo del equipo

- Se lleva a cero el indicador de Kv y mA, los cuales se encuentran en la valija de comando
- Se enciende la bomba de enfriamiento
- Se lleva el Kv a la mitad del Kv máximo nominal, esto es 100Kv
- Se determina el tiempo de permanencia del equipo en el Kv de inicio, el cual se lo establece de acuerdo al tiempo que el equipo no ha estado funcionando. Para el equipo de Rx.

Tiempo de parada	Tiempo de permanencia por cada 10 kv de ascenso a partir de los 100Kv
1 a 8 horas	20 segundos
8 horas a 7 días	60 segundos
1 a 4 semanas	2 minutos
Más de un mes	4 minutos

**Tabla 5.1** Tiempos para Recaldeo del equipo de Balteau® de END FIM EPN

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 6 de 9</b>

- Posicionar el minutero en el tiempo de permanencia estimada.
- Poner la llave de contacto una posición P y luego en la I.
- Presionar el botón rojo y en un lapso de 5 segundos llevar el medidor de Kv y el de mA a la mitad del valor nominal (5mA).
- Dejar el tiempo de permanencia calculador y luego subir cada vez 10 Kv hasta alcanzar el Kv deseado, manteniendo el mili-amperaje en 5mA.

### **Técnicas de ensayo**

La técnica de ensayo a utilizarse es la de pared simple vista simple.

### **Limpieza de la superficie**

La limpieza de las piezas de los cordones de soldadura no es necesaria, debido a que no afectará la calidad final de la radiografía. Sin embargo, se puede realizar una limpieza superficial en el caso de que exista mucha suciedad para facilitar el centrado de la película con la soldadura a inspeccionar.

### **Marcado de áreas a inspeccionar**

El marcado de las áreas a inspeccionar se realiza en un plano o bosquejo de la junta soldada y debe constar en el procedimiento. En el informe de inspección se indica el número, ubicación e identificación de las tomas, esto último es importante debido a que en la película radiográfica debe constar esta identificación.

### **Identificación de las películas radiográficas**

Las películas radiográficas tienen una identificación, en la cual consta: nombre de la institución o laboratorio que realiza el ensayo (siglas o abreviaturas), fecha, identificación de la junta soldada y toma a la que pertenece. Dependiendo del caso, cada película debe llevar ésta y otra información que se considere importante para su identificación como re inspecciones de reparaciones.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 7 de 9</b>

### **Selección y colocación de los indicadores de calidad de imagen (ICI)**

El indicador de calidad de imagen se lo selecciona de acuerdo al espesor a radiografiar y a la sensibilidad a requerida. Para el presente trabajo se utiliza los indicadores ASTM B de hilos y el nivel de sensibilidad de 2T según la norma ASTM SE147 fig. 3. Los indicadores de calidad de imagen se los ubica sobre la superficie de la pieza transversal al cordón de soldadura y del lado de la fuente.

### **Tomas radiográficas**

El número de tomas a realizarse depende de la longitud a inspeccionar y de la determinación de áreas críticas en la estructura. Estos sitios críticos deben ser determinados de acuerdo a la norma de fabricación de cada junta soldada. En caso contrario se debe recurrir a la experiencia del fabricante o del inspector con el fin de determinar los sitios de mayor posibilidad donde se presenten discontinuidades. Cualquiera sea el número de tomas a realizar seguirá el mismo procedimiento, el cual se menciona a continuación:

- Se localiza los lugares donde se van a realizar las tomas, las cuales se determina en el bosquejo o plano de la junta, los cuales constan en la orden de inspección correspondiente.
- Se prepara la pieza, realizando una limpieza rápida sí es necesario, separando partes que no interesen en la inspección.
- Se arma o prepara la película radiográfica, cortando la misma al tamaño deseado siendo este un máximo de 35 cm. Esta operación debe realizarse en el cuarto oscuro con las luces de seguridad, debido a que la película puede velarse.
- Se coloca la identificación de la película, en referencia a la del la soldadura, empleando las letras de plomo, utilizando cinta adhesiva. Además se coloca el indicador de calidad seleccionado.
- Se posiciona la película en el lugar correcto utilizando cinta adhesiva

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial – Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 8 de 9</b>

- Se indica al personal que se encuentre en los alrededores que se trasladen a un lugar seguro, se coloca la luz de seguridad intermitente a la vista del público.
- Se realiza la toma desde el panel de control
- Finalmente se debe presentar mucha atención a la seguridad durante el ensayo.

### **Procesamiento de películas**

Luego de realizar la toma correspondiente, se procede con los siguientes pasos:

- Se enciende la luz normal en el cuarto oscuro
- Se alista los líquidos de: revelado, parada, fijado, lavado final
- Se apaga la luz normal y enciende la luz de seguridad, se espera 2 minutos o hasta que la vista se adapte.
- Se saca la película del porta-película, se la introduce en la bandeja de revelador, se la observa por 15 segundos, se agita la bandeja levemente cada minuto y se deja por el tiempo recomendado por el fabricante. Este tiempo depende de la temperatura, aunque generalmente va de 5 a 8 minutos. Si se tiene varias películas se las debe tener la separadas en el baño al menos ½ pulgada.
- Al pasar los minutos recomendados se saca la película del revelado y se la coloca en el baño de parada, el cual contiene agua pura. En este baño la película que permanecer por 1 minuto.
- Luego la película pasa al baño de fijado, aquí permanece por 10 minutos en el fijador.
- Posteriormente viene el baño final en agua pura, el que dura 30 minutos.
- Finalmente se realiza el secado de la película, al aire por 20 minutos, o 10 minutos si se lo hace con secador.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 9 de 9</b>

### **Interpretación**

La interpretación se la realiza en un cuarto oscurecido y con ayuda de un negatoscopio. Si la película no cubre toda la pantalla del negatoscopio es recomendable tapar la superficie restante de éste para poder efectuar la lectura de interpretación sin deslumbramiento. Si no se obtienen los resultados esperados se debe realizar las correcciones necesarias en el procedimiento y realizar nuevas tomas hasta obtener una imagen radiográfica correcta.

### **Normas de aceptación o rechazo**

Los criterios de aceptación y rechazo para la evaluación de las discontinuidades obtenidas en las radiografías dependerán de la norma de construcción en este caso de las normas de soldadura AWS D1.1 y AWS D1.5

### **Informe**

El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, identificación de junta soldada, esquema de la soldadura, áreas y tomas a realizarse, equipos y materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Además, se recomienda añadir cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías o esquemas de la junta a inspeccionar.

A continuación se encuentra el informe que va a utilizar en el ensayo radiográfico, seguido de una explicación para su llenado

Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación – rechazo del código, respecto a este ensayo.

	<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Cargo:</b>	Supervisor de Inspección END	Jefe Inspección END
<b>Nombre:</b>	Christian Villacrés	Miguel Villacrés
<b>Firma:</b>		

	<b>INENDEC SA</b>			<b>ND:</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>				
<b>Datos Generales</b>				<b>1 de 3</b>
Laboratorio: [1]		Cliente: [2]		
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe N°: [5]		
<b>Identificación de la junta soldada</b>				
Descripción: [6]		Identificación: [7]		
Material: [8]		Estado de cordón de soldadura: [9]		
<b>Esquema de la junta</b>				
<b>Equipos y Materiales</b>				
<b>Equipo de rayos X</b>		[11]		
Marca:	Modelo:	Kv:	mA	
<b>Película</b>		[12]		
Marca:		Tipo		

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>	<b>ND:</b>
<b>Tomas a realizarse en la pieza</b>		<b>2 de 3</b>
<p>[12]</p>		

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>	<b>ND:</b>
---	--	------------

<b>Condiciones de trabajo y resultados [14]</b>		<b>3 de 3</b>
Densidad: 2	Calidad radiográfica: 2T	Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1 – D1.5

Discontinuidades obtenidas	1	2	3	4	5
Identificación					
Referencia					
Posición					
Longitud					
Tipo					
Aceptación/Rechazo					
Discontinuidades obtenidas	6	7	8	9	10
Identificación					
Referencia					
Posición					
Longitud					
Tipo					
Aceptación/Rechazo					

**Nota:** P: porosidad E: Inclusiones de arena o escoria R: rechupe F: fisura

**Observaciones:**

<b>Procesamiento de la película [15]</b>		
Iluminación:	Filtro:	Temperatura:
Revelado:	Baño de parada:	Fijado:
Lavado final:	Secado:	Temperatura:

**Operador:** [16]

Nivel:	Firma:
--------	--------

**Supervisor:** [17]

Nivel:	Firma:
--------	--------

<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>	<b>CLIENTE</b>
Fecha:	Fecha:
Firma: [18]	Firma: [19]

## **Llenado el informe de inspección**

1. Nombre de laboratorio que realiza la inspección radiográfica, el cual debe ser una institución o empresa.
2. Nombre del cliente que solicita la inspección.
3. Fecha en la que se inicia la inspección.
4. Lugar donde se realiza la inspección.
5. Número de informe radiográfico que ha realizado laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la soldadura. Esta identificación debe colocarse en la película para su reconocimiento luego del revelado.
8. Material de la junta con su abreviación, se especificará el material del metal base y de aporte.
9. El estado del cordón de soldadura, que será desde muy irregular a llana.
10. El esquema de la junta, el cual debe ser un dibujo una fotografía.
11. Datos del equipo de RX, marca, modelo, así como el Kv y mA nominales.
12. Datos de la película que se utiliza en el ensayo.
13. Gráfico o esquema de la pieza, en el que se indiquen los sitios donde se realizarán las tomas, así como su designación. Estado debe colocarse sobre la película para su reconocimiento.
14. Diferentes parámetros del ensayo, así como resultados obtenidos.
15. Información sobre los parámetros utilizados en el procesamiento de las películas.
16. Nombre de la persona que realiza el ensayo, su calificación y firma.
17. Nombre del supervisor del ensayo, su calificación y firma.
18. Fecha en que finaliza el ensayo y la firma o sello del laboratorio respectivo.
19. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección radiográfica, así como su firma de conformidad.

### 5.3. Elaboración de procedimiento de inspección con Ultrasonidos US

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Ultrasonidos - Estructuras	<b>Pág. 1 de 5</b>

#### Objetivo

Este documento tiene por objeto establecer las condiciones de trabajo necesarias y los pasos a seguir para la inspección ultrasónica de juntas soldadas y la determinación de: presencia, dimensión y posición de discontinuidades en el cordón de soldadura.

#### Alcance

Este ensayo se ejecutará en la inspección de soldadura en estructura metálica que aplique el código AWS D1.1. – D1.5. y sea de filete (ángulo interior) o en ranura, cuyos elementos soldados sean (al menos uno) una platina de superficie lisa donde el transductor de evaluación pueda deslizar sin comprometer la superficie de contacto. Este procedimiento no evalúa soldadura de elementos traslapados.

Los espesores soldados que se van a ensayar, con las normas de referencia AWS D1.1. – D1.5. , son desde 8 mm, hasta 200mm.

#### Información General

- El fundamento del método de inspección por ultrasonidos se encuentra explicado en la información teórica de textos de acústica como ASME V art 4-5, manuales de END y manuales de operación de equipo Krautkramer® USM32x, además de los requerimientos de los códigos de referencia.
- Las superficies del cordón de soldadura deben ser de acuerdo a los requerimientos de las normas de construcción AWS D1.1 y D1.5.
- La superficie del metal base por donde el transductor haga el barrido, deberá ser lo más lisa posible.
- Se emplearán procedimientos para inspección y para calibración de equipos.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 2 de 5</b>

### Documentos de referencia

Las normas y códigos de referencia que se utilizarán como guías técnicas son:

- ASME V art 4 y 5
- AWS D1.1, AWS D1.5

### Personal

El personal que evalúa las juntas soldadas a ensayar por ultrasonido, así como supervisar el ensayo debe ser calificado nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2009:03. Mientras que la persona que realice el ensayo y registre datos debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

### Equipos y materiales:

#### A) Equipo de ultrasonido

- Tipo: **A scan**
- Marca: Krautkramer®
- Modelo: USM32x
- Alimentación: batería ion litio 2000Ah
- Rango de frecuencia: 0,2 - 18 MHz
- Rango de frecuencia fina: 2 - 4 MHz

#### B) Cables para transductores

- Cable coaxial (pulso – eco)
- Cable dual (emisión – recepción)

#### C) Transductores

- Transductor plano
- Transductores angulares de: 70°, 60°, 45°
- Área de contacto mínima de 1,5in<sup>2</sup> (225mm<sup>2</sup>)

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 3 de 5</b>

D) Acoplante

- Agua jabonosa, aceite liviano, solución de carboximetil celulosa, glicerina

E) Bloques de calibración

- Bloque de calibración V1 y V2

F) Documentos Anexos

- Criterio de Aceptación – rechazo del código a aplicar
- Guía/planos de referencia de nomenclatura y ubicación de soldaduras

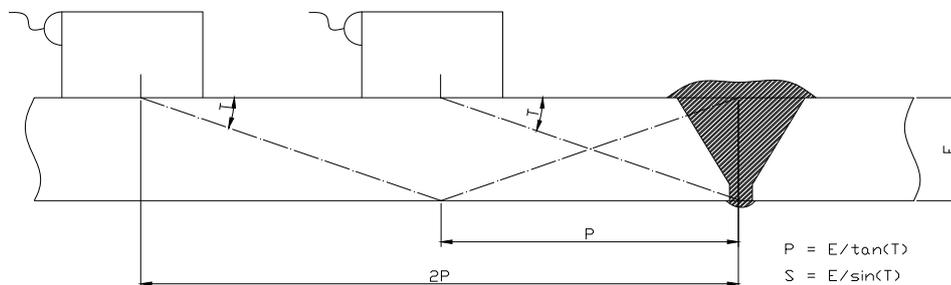
### Procesos

Dentro de la inspección por ultrasonidos se cumplirán dos procesos, uno de calibración y otro de inspección propiamente dicho.

### Proceso de calibración

- Se define el transductor a utilizarse con el cable respectivo.
- Se determina el punto de salida del Haz ultrasónico en el transductor con la ayuda del bloque de calibración V1 o V2 y del procedimiento descritos en AWS D1.1. y D1.5.
- Se determina el ángulo real de salida del Haz con la ayuda del bloque V1, y se verifica que el error respecto al ángulo nominal se encuentre dentro de lo admitido por la norma de referencia ( $\pm 2^\circ$ ).
- Se determina el camino sónico en función del espesor a evaluar (o rango de espesores) y del ángulo real de refracción.
- Se ajusta la pantalla para que en ella se representen P y 2P claramente en el eje horizontal (fig 5.2.).

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 4 de 5</b>



**Fig.5.2.** Esquema de distancias de inspección de soldadura

- Con la ayuda de un patrón auxiliar se elabora la curva DAC, donde la señal de mayor amplitud sea representada por el 80% de la altura de pantalla.
- Se incrementa la ganancia, de acuerdo a las tablas 6.2 – 6.3 de AWS D1.1. y 6.3. – 6.4. de AWS D1.5. según sea el caso.

### Proceso de inspección

- Se identifican y se marcan las zonas de inspección, así como las distancias X y Y (longitud y ancho de escaneo).
- Se limpia el metal base adyacente al cordón de soldadura adecuado para inspeccionar la junta soldada (distancia Y o 2P proyectada en el plano de inspección). Esta limpieza debe garantizar que la superficie metálica sea lo más lisa posible con el fin de garantizar un suave deslizamiento del transductor a través de esta superficie.
- Se coloca el líquido acoplante en la superficie de inspección.
- Se realiza el barrido ultrasónico con los movimientos A, B y C (zig-zag) (descritos en AWS D1.1.- D1.5. Fig. 6.24.) en toda la longitud del cordón de soldadura.
- En caso de detectarse una discontinuidad, con referencia a la curva DAC, se marca en un sitio visible las características de dicha discontinuidad, como profundidad, longitud, etc.
- Se marcan en sitio las indicaciones obtenidas en posición, longitud y características con la simbología propuesta en el informe-registro.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos – Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 5 de 5</b>

- Se registran dichas indicaciones en la tabla de observaciones.
- Se marca en sitio las discontinuidades que resultan ser rechazadas por el criterio del inspector y/o norma de referencia.
- Se libera la superficie del acoplante restante para su posterior recubrimiento.

### **Normas de aceptación o rechazo**

Los criterios de aceptación y rechazó para la evaluación de las discontinuidades obtenidas en la inspección ultrasónica dependerán de las norma de construcción de soldadura AWS D1.1 y AWS D1.5, aunque es importante tomar en cuenta el criterio del inspector de soldadura e incluso del diseño de la junta soldada, pues se da muy frecuente el caso que éste corresponde a una junta a penetración parcial. Si este es el caso, el solicitante del servicio debe manifestar dicha particularidad antes de realizar el ensayo.

### **Informe**

El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, identificación de la junta soldada, esquema de la soldadura, áreas, equipos y materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Además, se añade cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías de la junta a inspeccionada..

Se adjuntará a este documento: los criterios de aceptación – rechazo del código respecto a este ensayo y la figura 6.24.

	<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Cargo:</b>	Supervisor de Inspección END	Jefe Inspección END
<b>Nombre:</b>	Christian Villacrés	Miguel Villacrés
<b>Firma:</b>		

	<b>INENDEC SA</b>			<b>ND:</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS</b>				
<b>Datos Generales</b>				<b>1 de 2</b>
Laboratorio: [1]		Cliente: [2]		
Fecha: [3]	Lugar: [4]		Informe N°: [5]	
<b>Identificación de la junta soldada</b>				
Descripción: [6]			Identificación: [7]	
Material: [8]		Estado de cordón de soldadura: [9]		
<b>Esquema de la junta</b>				
[10]				
<b>Equipos y Materiales</b>				
<b>Equipo de Ultrasonido</b> [11]				
Marca:	Modelo:	Rango Frecuencia:	Fuente de poder:	
<b>Transductor</b> [12]				
Marca:	Tipo:	Ángulo nominal:	Frecuencia:	



**INENDEC SA**  
**INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS**

**ND:**

**Condiciones de trabajo y resultados [13]**

**2 de 2**

Método: pulso – eco

Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1 – D1.5

<b>Soldadura/indicación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Espesor [mm]</b>				
<b>Identificación</b>				
<b>Discontinuidades obtenidas</b>				
<b>Longitud</b>				
<b>Posición</b>				
<b>Profundidad</b>				
<b>Nivel de severidad</b>				
<b>Aceptación</b>				
<b>Rechazo</b>				

**Nota:** P: porosidad FP: Falta de Penetración FF: Falta de fusión EyR: Esmerilar y rellenar

**Observaciones:**

**Parámetros de Inspección [14]**

Campo:	Ganancia:	Velocidad de sonido:
Retardo (Punto ini. Ventana):	Retardo Transductor:	Acoplante:
Distancia X:	Distancia Y:	Velocidad de barrido:

**Operador:** [15]

Nivel:

Firma:

**Supervisor:** [16]

Nivel:

Firma:

**LABORATORIO/ Inendec**

**CLIENTE**

Fecha:

Fecha:

Firma: [17]

Firma: [18]

## **Llenado el informe de inspección**

1. Nombre de laboratorio que realiza la inspección ultrasónica, el cual debe ser una institución o empresa.
2. Nombre del cliente que solicita la inspección.
3. Fecha en la que se inicia la inspección.
4. Lugar donde se realiza la inspección.
5. Número de informe que ha realizado laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la soldadura.
8. Material de la junta con su abreviación, se especificará el material del metal base y de aporte.
9. El estado del cordón de soldadura, que varía de irregular a llano.
10. El esquema de la junta, el cual debe ser un dibujo una fotografía.
11. Datos del equipo de US, marca, modelo, el rango de frecuencia y su fuente de poder.
12. Datos del transductor a utilizar en el ensayo, su marca, tipo, ángulo nominal y frecuencia.
13. Diferentes parámetros del ensayo, así como resultados obtenidos.
14. Información sobre los parámetros utilizados en la inspección ultrasónica fijados en el equipo, condiciones de trabajo.
15. Nombre de la persona que realiza el ensayo, su calificación y firma.
16. Nombre del supervisor del ensayo, su calificación y firma.
17. Fecha en que finaliza el ensayo y la firma o sello del laboratorio respectivo.
18. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección, así como su firma de conformidad.

#### 5.4. Elaboración de procedimiento de inspección con Tintas Penetrantes TP

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INTP01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Penetrantes TP - Estructuras	<b>Pág. 1 de 3</b>

##### Objetivo

El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección mediante líquidos penetrantes de juntas soldadas de elementos en estructura metálica.

##### Alcance

Este método permite detectar las discontinuidades que se encuentren abiertas a la superficie en cordones de soldadura de estructura metálica que aplique el código AWS D1.1. – D1.5., en fases de construcción de planta y de montaje, tales como fisuras, poros, etc. Para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

El estado de la superficie de cordón de soldadura debe ser tal como se presenta luego de la aplicación del procedimiento pre-calificado de soldadura, libre de recubrimientos y escoria.

##### Información General

- El fundamento del método de líquidos penetrantes se encuentra en la información teórica de inspección por líquidos penetrantes como ASME V art 6, manuales de END de propiedad de Inendec S.A. y códigos de referencia como ASTM E 709
- Las superficies del cordón de soldadura estarán de acuerdo a los requerimientos de las normas de construcción AWS D1.1. y D1.5.
- En este procedimiento emplea la técnica B3. Esta técnica utiliza los penetrantes coloreados lavables con solvente.

##### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V art 6
- AWS D1.1, AWS D1.5

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INTP01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Penetrantes TP – Estructuras	<b>Pág. 2 de 3</b>

### **Personal**

El personal que evaluará las juntas soldadas a ensayar por líquidos penetrantes, así como supervisar el ensayo debe ser calificado nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2009:03. Mientras que la persona que realice el ensayo y registre datos debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

### **Equipos y materiales**

- Líquidos: al aplicarse la técnica B3, se emplearán solvente, líquido penetrante coloreado, revelador y limpiador, todos de la misma marca y de compatibilidad asegurada por el fabricante.
  
- Accesorios: se debe utilizar equipo para limpieza previa del cordón de soldadura y adicionalmente equipo y vestimenta industrial para realizar esta actividad tal como pantalla protectora, guantes, zapatos con punta de acero, overall de tela resistente. Para la limpieza inicial se utilizará amoladoras portátiles y cepillos circulares de alambre suave. Para las limpiezas incluidas dentro del ensayo, se utilizará tela cruda de algodón 100%. Adicionalmente se utiliza una cámara fotográfica para registrar los resultados del ensayo.
  
- Documentos: Los criterios de Aceptación – Rechazo del código aplicado, y las guías o planos que contengan la información de la identificación de la soldadura y su nomenclatura de ubicación.

### **Proceso**

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes es como se menciona a continuación:

- Limpieza de la superficie a inspeccionar, ésta se realiza con cepillo de alambre o con un cepillo circular de alambre suave y una amoladora portátil para que el cordón de soldadura quede libre de pintura, escoria, óxido, concreto, etc.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INTP01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Penetrantes TP - Estructuras	<b>Pág. 3 de 3</b>

- Limpieza con solvente, ésta se realiza con el paño de tela empapado de limpiador (cleaner), retirando así residuos que no han sido retirados.
- Aplicación del penetrante, se aplica sobre la superficie del cordón de soldadura, el tiempo de permanencia del penetrante es de cinco minutos como mínimo, dependiendo de lo indicado por el fabricante.
- Eliminación del exceso de penetrante, esto se realiza con el paño de tela seco y su objetivo es retirar la mayor cantidad de penetrante en exceso posible.
- Limpieza del penetrante, esto se realiza con el paño de tela humedecido moderadamente con limpiador para remover el penetrante de la superficie de la soldadura, sin remover el penetrante del interior de las posibles discontinuidades tales como fisuras, poros o mordeduras.
- Revelado, se aplica el revelador sobre el cordón de soldadura a una distancia de 25 a 30 cm. con una capa fina regulada de acuerdo a la experiencia previa del inspector.
- Se deja actuar el revelador y por cinco minutos se realiza la inspección visual para obtener una indicación adecuada y observar el penetrante que ha ingresado en el interior de la discontinuidad.
- Marcado de las discontinuidades: Se marca y se registra las discontinuidades obtenidas con la simbología sugerida en el informe – registro y la nomenclatura de soldadura definidas por cliente e Inendec SA.

### **Normas de aceptación rechazo**

La norma de aceptación rechazó para la inspección con líquidos penetrantes es la norma AWS D1.1 y D 1.5 y el ensayo debe realizarse conforme ASTM E433 y ASTM E709.

	<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Cargo:</b>	Supervisor de Inspección END	Jefe Inspección END
<b>Nombre:</b>	Christian Villacrés	Miguel Villacrés
<b>Firma:</b>		

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES</b>		<b>ND:</b>
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 2</b>
Laboratorio:  [1]		Cliente:  [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe N°: [5]	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: [6]		Identificación: [7]	
Material: [8]		Estado de cordón de soldadura: [9]	
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
[10]			

	<b>INENDEC SA</b>			<b>ND:</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES</b>				
<b>Equipos y Materiales</b>				<b>2 de 2</b>
<b>Líquidos</b>				
Limpiador/Removedor: [11]		Emulsificador: [11]		
Penetrante: [11]		Revelador: [11]		
Accesorios: [11] Brochas, Paños, Cepillos de alambre, esmeriladoras, cámara fotográfica...				
<b>Registro</b>				
<b>Indicación</b>	1	2	3	4
<b>Posición</b>				
<b>Referencia</b>				
<b>Longitud</b>				
<b>Tipo</b>				
<b>Aceptación /Rechazo</b>				
<b>Reparación</b>				
<b>Marcas: Poro, M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar				
<b>Operador</b>				
Nivel: [14]		Firma: [14]		
<b>Supervisor</b>				
Nivel: [15]		Firma: [15]		
<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>		<b>CLIENTE</b>		
Fecha: [16]		Fecha: [17]		
Firma:		Firma:		

## **Llenado del informe de inspección**

1. Nombre de laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa
2. Nombre del cliente que solicita la inspección
3. Fecha en la que se inicia la inspección
4. Lugar donde se realiza la inspección
5. Número de informe por tintas penetrantes que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar
8. Material de la junta soldada
9. Estado superficial del cordón soldadura
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Datos de los líquidos y accesorios a utilizarse en el ensayo.
12. Condiciones de trabajo, que son la técnica y tiempos.
13. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
14. Nombre de la persona que realiza el ensayo, su calificación y firma
15. Nombre del supervisor del ensayo, su calificación y firma
16. Fecha en que se finaliza el ensayo y la firma del laboratorio respectivo
17. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante líquidos penetrantes, así como su firma de conformidad.

## 5.5. Elaboración de procedimiento de inspección con Partículas Magnéticas

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 1 de 5</b>

### Objetivo

- El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección mediante partículas magnetizables en juntas soldadas de elementos estructurales.
- Detectar las discontinuidades superficiales y sub superficiales en un cordón de soldadura mediante este método, para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

### Alcance

Se utiliza inspección por Partículas Magnetizables en cordones de soldadura de estructura metálica que aplique el código AWS D1.1. – D1.5. , realizados en fase de fabricación de planta y en montaje que tengan un acabado superficial tal como se presenta después de soldar con procedimientos y soldadores calificados, libre de recubrimientos y cuya accesibilidad permita la aplicación del campo magnético, las partículas magnetizables, sean estas en vía seca o en vía húmeda, y puedan ser iluminadas con luz visible o luz negra.

### Información General

- El fundamento del método de partículas magnetizables se encuentra ampliado en, manuales de END de propiedad de Inendec S.A., manuales de equipos y normas de referencia como ASME V art 7 y ASTM SE 709.
- El estado superficial del cordón de soldadura a inspeccionar es como se presenta luego de ejecutar un procedimiento calificado de soldadura, libre de recubrimientos.
- En este ensayo, se va a utilizar un equipo yugo de patas fijas, debido a que las juntas soldadas a inspeccionar son de geometrías plana.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 2 de 5</b>

### **Normas de referencia**

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V : subsección A, Art 7; subsección B Art 25
- AWS D1.1, AWS D1.5

### **Personal**

El personal que va a evaluar la inspección por partículas magnéticas de las juntas soldadas, así como a supervisar el ensayo, debe ser calificado nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2009:03. Mientras que la persona que realice el ensayo debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

### **Equipos y materiales**

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizará un yugo magnético de patas fijas, por la facilidad que éste presenta para la inspección de juntas soldadas, además por la portabilidad del mismo, los códigos reguladores así lo indican.

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- a) Equipo de magnetización
  - Yugo de patas fijas (fuerza portante especificada en el proceso)
  
- b) Medios de aplicación
  - Espolvoreador tipo pera
  - Brocha/atomizador
  
- c) Partículas magnéticas
  - Partículas vía seca o vía húmeda

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 3 de 5</b>

d) Elementos de limpieza

- Paños, solventes, cepillos de alambre suave, etc.

e) Elementos de protección

- Mandil, overol, guantes, pantalla protectora, zapatos industriales, etc.

f) Accesorios

- Cámara fotográfica
- Revelador (como elemento de contraste)

g) Documentación

- Criterios de aceptación – rechazo del código aplicable
- Guía/planos de referencia de nomenclatura y ubicación de soldadura

### Proceso

- El primer paso es limpiar la superficie a ensayar, debido a que la superficie de los cordones de soldadura de la junta tienden a acumular suciedad y escoria en sus rugosidades. Esta limpieza se debe realizar con escobillas o con cepillo de alambre suave, incluso para longitudes mayores se debe utilizar cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladoras. El objetivo de esta limpieza es mejorar la movilidad de las partículas magnéticas.
- A continuación se realiza la magnetización del cordón de soldadura mediante el yugo de patas fijas. La técnica a utilizarse es la continua, por lo tanto se aplica el campo y las partículas simultáneamente sobre el área inspeccionar. Si la soldadura es de gran tamaño (longitudes mayores a 30cm), se la ha de inspeccionar por partes. Es importante que las patas del yugo no entren en contacto con la superficie metálica ya que no se lograría una magnetización eficiente.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 4 de 5</b>

- La fuerza portante del yugo debe cumplir lo estipulado por la norma ASTM E 709. Esta norma indica que un yugo de corriente alterna debe ser capaz de levantar un peso de 4.5 kg en la posición más abierta en la que vaya a ser utilizada, mientras que para los yugos de corriente continua sugiere un peso de 18,1 kg.
- Posteriormente se aplica las partículas magnéticas en forma directa sobre la superficie a inspeccionar mediante el uso del espolvoreador de partículas secas, mientras que se utilizará un aerosol o pulverizador para partículas húmedas.
- Dependiendo del caso se deja transcurrir el tiempo de acción de las partículas, asimismo, se ilumina con la fuente de luz ultravioleta para partículas fluorescentes para entonces interpretar y evaluar las indicaciones obtenidas.
- El siguiente paso es remover la totalidad de las partículas utilizadas, para obtener una superficie limpia y además reutilizar estas partículas en el siguiente ensayo.
- Finalmente se desmagnetiza la junta soldada, esto se consigue alejando el campo magnético del yugo, colocando el yugo en la misma dirección del campo residual, se lo pone en contacto con la superficie metálica, se activa el campo y se lo separa de una forma brusca. Se debe comprobar la nulidad de campo magnético con un gaussímetro.

### **Normas de aceptación y rechazo**

Las normas aplicables al método de partículas magnéticas son: ASTM E125, ASTM E 709 y ASME V art 7 para la aplicación del método y ANSI-AWS D1.1 – D1.5 para los criterios de aceptación o rechazo.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 5 de 5</b>

### Informe

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. Este informe debe contener la siguiente información: datos generales, tales como laboratorio donde se realiza el ensayo, cliente que lo solicita, lugar, fecha, etc. Identificación de la pieza, esquema de la pieza, equipos y materiales, condiciones de trabajo y resultados. Este informe debe ser firmado por el operador y el supervisor del ensayo.

Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación – rechazo del código, respecto a este ensayo.

	<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Cargo:</b>	Supervisor de Inspección END	Jefe Inspección END
<b>Nombre:</b>	Christian Villacrés	Miguel Villacrés
<b>Firma:</b>		

	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND:</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS</b>			
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 2</b>
Laboratorio: [1]		Cliente: [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe N°: [5]	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: [6]		Identificación: [7]	
Material: [8]		Estado de cordón de soldadura: [9]	
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
[10]			

	<b>INENDEC SA</b>			<b>ND:</b>
	<b>INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS</b>			
<b>Equipos y Materiales</b>				<b>2 de 2</b>
<b>Equipo de magnetización</b>				
Tipo:				
[11]				
Marca:		Amperaje nominal:		
[11]		[11]		
<b>Tipo de Partículas:</b>				
<b>Registro</b>				
<b>Indicación</b>	1	2	3	4
<b>Posición</b>				
<b>Referencia</b>				
<b>Longitud</b>				
<b>Tipo</b>				
<b>Aceptación /Rechazo</b>				
<b>Reparación</b>				
<b>Marcas: Poro, M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar				
<b>Resultados</b>				
Tipo de Discontinuidad:		Observaciones:		Evaluación:
[13]		[13]		[13]
<b>Operador</b>				
Nivel:		Firma:		
[14]		[14]		
<b>Supervisor</b>				
Nivel:		Firma:		
[15]		[15]		
<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>		<b>CLIENTE</b>		
Fecha:		Fecha:		
[16]		[17]		
Firma:		Firma:		

## **Llenado del informe de inspección**

1. Nombre de laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa
2. Nombre del cliente que solicita la inspección
3. Fecha en la que se inicia la inspección
4. Lugar donde se realiza la inspección
5. Número de informe por partículas magnéticas que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar
8. Material de la junta soldada
9. Estado superficial del cordón soldadura
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Datos de los equipos, materiales y accesorios a utilizarse en el ensayo.
12. Condiciones de trabajo, que son la técnica y tiempos.
13. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
14. Nombre de la persona que realice el ensayo, su calificación y firma
15. Nombre del supervisor del ensayo su calificación y firma
16. Fecha en que finaliza el ensayo y la firma del laboratorio respectivo
17. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante partículas magnetizables, así como su firma de conformidad.

## 5.6. Elaboración de procedimiento de Inspección Visual IV

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INIV01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Inspección	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Visual - Estructuras	<b>Pág. 1 de 3</b>

### Objetivo

- El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección visual en juntas soldadas de elementos estructurales.
- Este método permite detectar las discontinuidades superficiales en un cordón de soldadura, para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

### Alcance

La inspección visual de soldadura en estructura metálica se realizará en todo tipo de cordones de soldadura accesibles que apliquen el código AWS D1.1 – D1.5., con la ayuda de accesorios como galgas, iluminación artificial, lentes de aumento, etc.

### Información General

- El fundamento del método de Inspección Visual se encuentra explicado principalmente en códigos de la AWS, ASME V art 9 y 28, y otros manuales de soldadura y END propiedad de Inendec S.A.
- El estado superficial del cordón de soldadura a inspeccionar es como se presenta luego de ejecutar un procedimiento calificado de soldadura realizado por un soldador calificado.

### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V Art. 9 y art 28
- AWS D1.1, AWS D1.5

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INIV01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Inspección	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Visual - Estructuras	<b>Pág. 2 de 3</b>

### **Personal**

El personal que evalúa inspección visual de las juntas soldadas, así como el supervisor del ensayo debe ser calificado nivel II o III en Inspección Visual, según la norma INEN ISO 9712-2009:03. Mientras que la persona que realice el ensayo y registre los datos debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

### **Equipos y materiales**

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- Flexómetro
- Galga de medición de soldadura
- Luz artificial (reflector)
- Cámara fotográfica
- Elementos de protección
- Criterios de aceptación – rechazo del código aplicado
- Guía/plano de referencia de nomenclatura de soldadura

### **Proceso**

- El primer paso es limpiar la superficie a inspeccionar, debido a que la superficie de los cordones de soldadura de la junta tienden a ser rugosas. Esta limpieza se realiza con cepillo de alambre, incluso para longitudes mayores se utiliza cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladoras. El objetivo de esta limpieza es mejorar visibilidad de defectos presentes en la soldadura.
- A continuación se verifica características geométricas de la soldadura respecto al diseño de la junta, como ancho del cordón, presentación, perfil de la soldadura que debe ser plano o ligeramente convexo y nunca

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INIV01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Inspección	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Visual - Estructuras	<b>Pág. 3 de 3</b>

cóncavo, dentro de las posibilidades comprobar la correcta penetración y, también es usual comprobar la existencia de los cordones de soldadura, que en general, los operarios suelen olvidar.

- Se marcan las zonas problemáticas, midiendo su longitud e indicando, según el criterio del inspector de soldadura las zonas a reforzar o a reparar con la simbología propuesta en el informe – registro.
- Finalmente se registran estos datos en el informe de inspección visual.

### **Normas de aceptación y rechazo**

Las normas aplicables al método de Inspección Visual ASME V, respecto a la aplicación del método y ANSI-AWS D1.1 – D1.5 para los criterios de aceptación o rechazo.

### **Informe**

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. Este informe debe contener la siguiente información: datos generales, tales como cliente que lo solicita, lugar, fecha, etc. Identificación de la junta soldada, esquema, materiales, condiciones de trabajo y resultados. Este informe debe ser firmado por el supervisor del ensayo.

Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación – rechazo del código, respecto a este ensayo.

	<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Cargo:</b>	Supervisor de Inspección END	Jefe Inspección END
<b>Nombre:</b>	Christian Villacrés	Miguel Villacrés
<b>Firma:</b>		

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION VISUAL</b>		<b>ND:</b>
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 1</b>
Laboratorio: [1]		Cliente: [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe N°: [5]	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: [6]		Identificación: [7]	
Material: [8]	Estado de cordón de soldadura:		[9]
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
[10]			
<b>Marcas: Poro, M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar			
<b>Resultados</b>			
Tipo de Discontinuidad: [11]	Observaciones: [11]	Evaluación: [11]	
<b>Inspector</b>			
Nivel: [12]		Firma: [12]	
<b>Supervisor</b>			
Nivel: [13]		Firma: [13]	
INENDEC		CLIENTE	
Fecha: [14]	Fecha: [15]		
Firma:	Firma:		

## **Llenado del informe de inspección**

1. Nombre de laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa
2. Nombre del cliente que solicita la inspección
3. Fecha en la que se inicia la inspección
4. Lugar donde se realiza la inspección
5. Número de informe por inspección visual que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar.
8. Material de la junta soldada.
9. Estado superficial del cordón soldadura.
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
12. Nombre de la persona que realice el ensayo, su calificación y firma.
13. Nombre del supervisor del ensayo su calificación y firma.
14. Fecha en que se finalice el ensayo y la firma del laboratorio respectivo.
15. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante inspección visual, así como su firma de conformidad.

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ACUERDO CON EL CÓDIGO ANSI-AWS D1.1

#### 6.1. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo

Se aplicará cada uno de los procedimientos generados en el capítulo anterior en dos probetas de soldadura marcadas con identificación P1 y P2 respectivamente, con el fin de contrastar los resultados arrojados con la inspección por cada método de END aplicable y entre sí.

Esta aplicación seguirá una estructura similar para cada procedimiento, de la misma forma los pasos seguidos y especificaciones de cada parámetro.

#### 6.2. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Radiografía Industrial RI.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 1 de 6</b>

#### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizadas son los siguientes:

Código a ASME sección V: subsección A

Código ANSI-AWS sección D1.1-2006

#### Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel II.

La persona que realizó el ensayo y registró los datos es calificado nivel I.

- Ing. Miguel Villacrés Nivel II
- Sr. Christian Villacrés Nivel I

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 2 de 6</b>

## Equipos y materiales

Los equipos empleados para el ensayo radiográfico son los siguientes:

a) Equipo de rayos X

Marca: Balteau

Modelo: Nro. 4801812

Kilo voltaje: 200Kv 10 mA

Ángulo del haz: 40°

b) Película radiográfica

Fuji 80 ancho: 70mm. Funda con pantallas de plomo de 0.030mm

c) Bunker

Dimensiones: 2,5m x 2,5m x 2,3m

Espesor de pared: 35 cm. Hormigón

Puerta: estructura de acero con placas de 6 mm de plomo

d) Equipo de procesamiento

Tipo de luz: roja, Kodak n° 6B

Cuatro bandejas plásticas, para los diferentes baños

Cronómetro: Eastman Kodak

Revelador: A Jobeco RX1

Fijador: A Jobeco FX1

e) Equipo de interpretación y evaluación

Negoscopio: 200luxes@10 cm de pantalla      Fabricación local

Características: Potencia 250 Watts

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 3 de 6</b>

- a) Accesorios de control de calidad  
 Densitómetro de película: DUPONT CRONEX A- 87581  
 Indicadores de calidad de imagen: de hilos ASTM B (ASTM SE147 fig. 3)  
 Letras de identificación: Kit de letras de 3/8" de plomo
- b) Equipo de seguridad  
 Indicador de radiación: luz de alerta roja, Victorin 492 (0-900mR/h)  
 Dosímetros: de película marca Kodak
- c) Documentación  
 Figura 6.1. del código ANSI-AWS D1.1. 2006  
 Plano de construcción con nomenclatura de uniones soldadas

## Procesos

### Cálculos de exposición

- distancia mínima foco película considerando la penumbra geométrica:



- Selección del kilovoltaje, intensidad y tiempo de exposición:

Kv: 180Kv

Intensidad: 5mA

$T_{\text{calculado}}(24\text{mm}) = 2,4\text{min}$

Factor de densidad  $f_n = 2,2$

Factor de distancia focal  $f_d = 0,5$

Factor de película  $f_e = 1,4$

Factor de agentes varios  $f_v = 1$

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 4 de 6</b>

### **Recaldeo del equipo**

- Se setea a cero el dial de Kv y mA, en la valija de comando
- Se encendió la bomba de enfriamiento
- Se activó el equipo desde la valija de comando remoto.
- Se incrementó desde 100Kv con intervalos de 10Kv cada 2 minutos hasta llegar a 180Kv, siempre manteniendo la intensidad de corriente en 5 mA.

### **Técnica de ensayo**

La técnica de ensayo para estas probetas fue la de pared simple vista simple.

### **Limpieza de la superficie**

La limpieza de las piezas de los cordones de soldadura no fue necesaria.

### **Marcado de áreas a inspeccionar**

Se ha marcado las probetas con las letras A y B una en cada extremo, para identificar el sentido de la película, la identificación de la empresa solicitante y la identificación de cada probeta, P1 y P2 respectivamente.

### **Identificación de las películas radiográficas**

Las películas se han identificado con la ayuda de caracteres de plomo de la misma forma en que se han marcado las probetas.

### **Selección y colocación de los indicadores de calidad de imagen (ICI)**

De acuerdo con las tablas se ha seleccionado el indicador de calidad de hilos numero 12 ASTM. Para el espesor a radiografiar, se selecciona el indicador categoría B, y se puede observar en la radiografía el cuarto hilo.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 5 de 6</b>

### **Tomas radiográficas**

Se realiza una toma para cada probeta, pues, la probeta P1 que es la más grande, entra en el rango del foco del equipo disponible.

- Se preparó la película radiográfica, cortando la película al tamaño de la longitud de los cordones en P1 y P2.
- Se colocó la identificación de la película, empleando las letras de plomo, utilizando cinta adhesiva. Además se coloca el indicador de calidad.
- Se indicó al personal que se encontró en los alrededores que se trasladen a un lugar seguro.
- Se realizó la toma desde el panel de control

### **Procesamiento de películas**

Luego de realizar las tomas correspondientes, se procede con los siguientes pasos:

- Se encendió la luz roja en el cuarto oscuro de revelado, se apagó la luz normal, asegurándose que no ingrese luz del exterior.
- Se alista los líquidos de revelado, parada, fijado, lavado final
- Se saca la película del porta-película y se la introduce en el líquido revelador, y se dejó por 7 minutos.
- luego se sacó la película del revelado y se la coloca en el baño de parada con agua pura por 3 minutos
- Luego la película pasó al baño de fijado, aquí permaneció por 10 minutos.
- Posteriormente se coloca la película en el baño final durante 30 minutos, en agua pura.
- Finalmente se secó la película por 20 minutos.

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INRI01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Radiografía Industrial - Estructuras	<b>Pág. 6 de 6</b>

### **Interpretación**

La interpretación se realizó en el cuarto oscuro, con ayuda de un negatoscopio. Como apoyo, se digitalizó la imagen radiográfica con la ayuda de un scanner de diapositivas.

### **Normas de aceptación o rechazo**

Los criterios de aceptación y rechazó para la evaluación de las discontinuidades obtenidas son los expuestos en la norma de construcción de soldadura AWS D1.1.-2006 Sección 6. - Figura 6.1.



**INENDEC SA**  
**INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL**

**ND: ISX0001**

**Datos Generales**

**1 de 4**

Laboratorio:

END-EPN

Cliente:

Proyecto

Fecha:

19/01/2009

Lugar:

EPN – Quito

Informe N°:

001

**Identificación de la junta soldada**

Descripción:

Soldadura de calificación de procedimiento con  
SMAW para 21 mm de espesor

Identificación:

P1

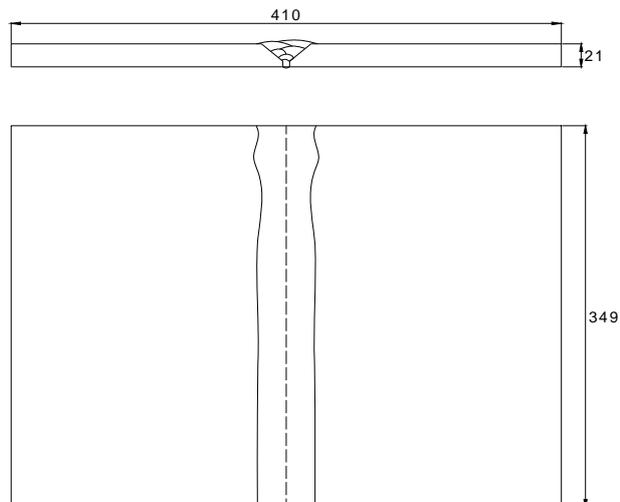
Material:

Acero ASTM A36

Estado de cordón de soldadura:

Rugosidad normal

**Esquema de la junta**



**Equipos y Materiales**

**Equipo de rayos X**

Marca:

Balteau

Modelo:

Nro. 4801812

Kv:

180

mA

5

**Película**

Marca: Fuji

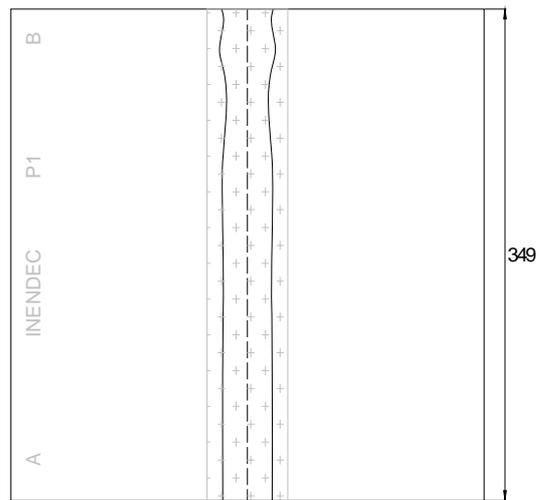
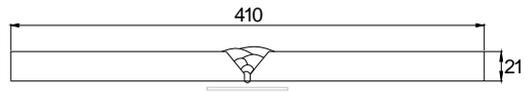
Tipo: 80 + Pb

Ancho: 70 mm



**Tomas a realizarse en la pieza**

**2 de 4**

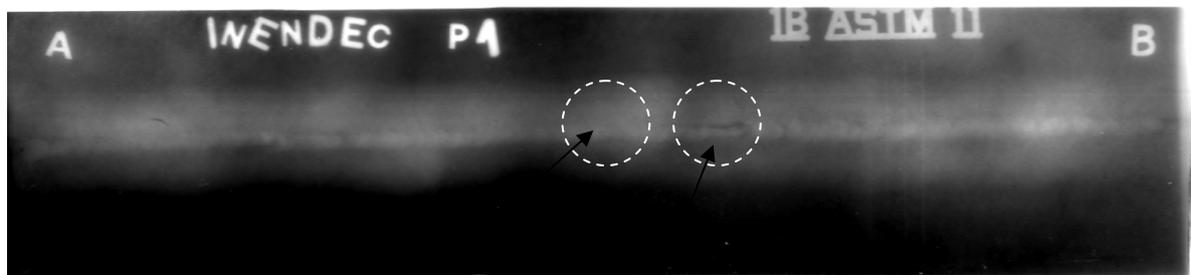


	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>	<b>ND: ISX0001</b>	
<b>Condiciones de trabajo y resultados</b>		<b>3 de 4</b>	
Densidad: 2	Calidad radiográfica: 1B ASTM 4°HILO	Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1 2006	
<b>Discontinuidades obtenidas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Identificación</b>	INENDEC P1	INENDEC P1	
<b>Referencia</b>	A-B	A-B	
<b>Posición</b>	165 MM	175 MM	
<b>Longitud</b>	10 MM	10 MM	
<b>Tipo</b>	CP	E	
<b>Aceptación/Rechazo</b>	A	A	
<b>Discontinuidades obtenidas</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Identificación</b>			
<b>Referencia</b>			
<b>Posición</b>			
<b>Longitud</b>			
<b>Tipo</b>	-		
<b>Aceptación/Rechazo</b>			
<b>Nota:</b> P/ CP: porosidad E: Inclusiones de arena o escoria R: rechupe F: fisura D: desgarre I: inclusión			
<b>Observaciones:</b> Se observa una colonia de poros y una escoria de aprox. 3 mm. Probeta aceptada (AWS D1.1)			
<b>Procesamiento de la película</b>			
Iluminación: foco 110v 15w	Filtro: Rojo KODAK 6B	Temperatura: 18°C	
Revelado: 3 min	Baño de parada: 2 min	Fijado: 10 min	
Lavado final: 30 min	Secado: 20 min	Temperatura: 22°C	
<b>Operador:</b>	Christian Villacrés		
Nivel: I RI	Firma:		
<b>Supervisor:</b>	Ing. Miguel Villacrés		
Nivel: III RI	Firma:		
<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b> Fecha: 19/01/2009 Firma:	<b>CLIENTE</b> Fecha: 19/01/2009 Firma:		



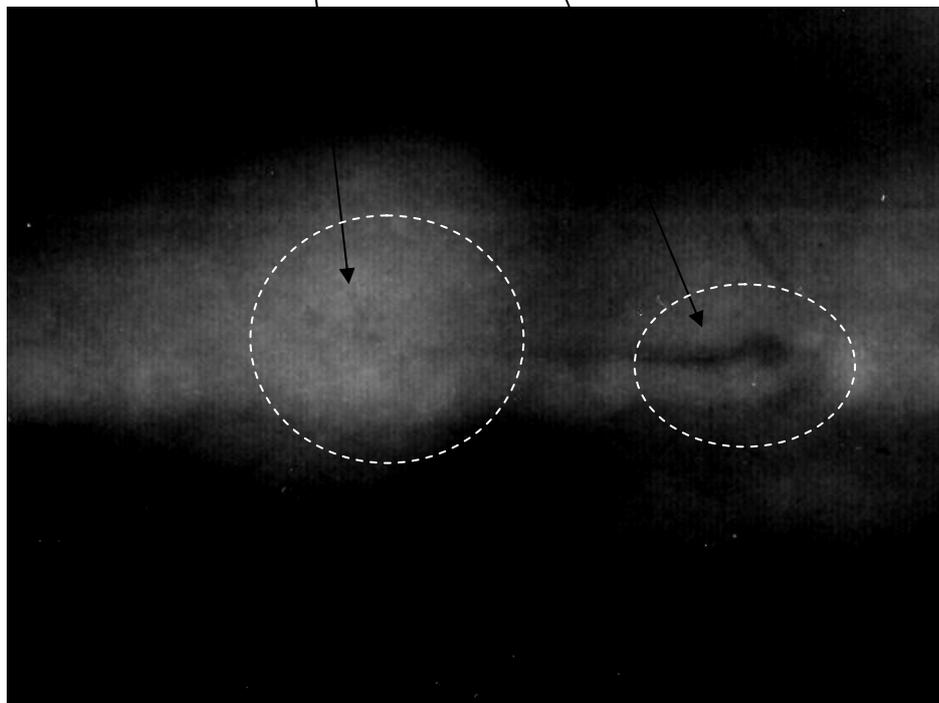
**Imagen Radiográfica**

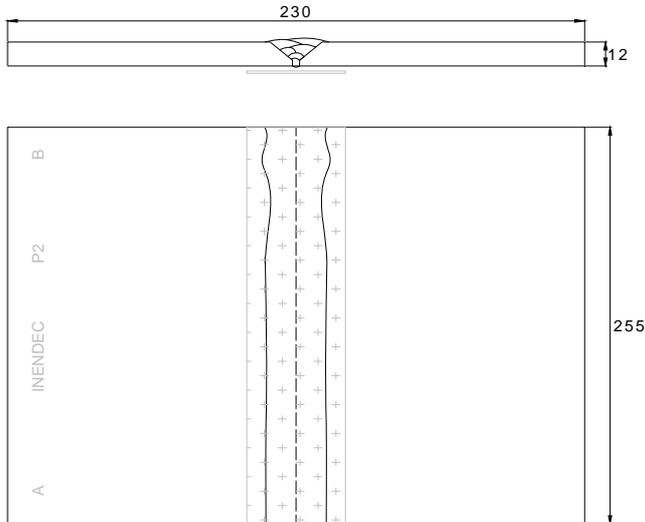
**4 de 4**



Colonia de poros

Escoria



		<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>		<b>ND: ISX0002</b>
<b>Datos Generales</b>				<b>1 de 4</b>
Laboratorio: END-EPN		Cliente: Proyecto		
Fecha: 19/01/2009	Lugar: EPN – Quito	Informe N°: 002		
<b>Identificación de la junta soldada</b>				
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 8 mm de espesor			Identificación: P2	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal		
<b>Esquema de la junta</b>				
				
<b>Equipos y Materiales</b>				
<b>Equipo de rayos X</b>				
Marca: Balteau	Modelo: Nro. 4801812	Kv: 180	mA 5	
<b>Película</b>				
Marca: Fuji	Tipo: 80 + Pb	Ancho: 70 mm		



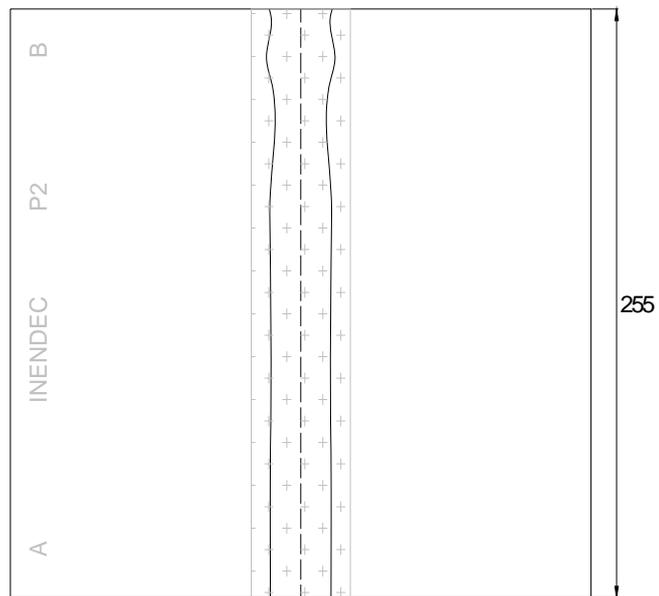
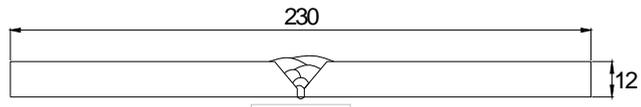
**INENDEC SA**

**INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL**

**ND: ISX0002**

**Tomas a realizarse en la pieza**

**2 de 4**



	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>	<b>ND: ISX0002</b>
---	--	--------------------

<b>Condiciones de trabajo y resultados</b>		<b>3 de 4</b>
Densidad: 2	Calidad radiográfica: 1B ASTM 4°HILO	Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1 – 2006

Discontinuidades obtenidas	1	2	3
Identificación	INENDEC P2		
Referencia	A-B		
Posición	0 – 120 MM		
Longitud	120 MM		
Tipo	E		
Aceptación/Rechazo	Rechazada (FP, E)		
Discontinuidades obtenidas	4	5	6
Identificación			
Referencia			
Posición			
Longitud			
Tipo			
Aceptación/Rechazo			

**Nota:** P: porosidad E: Inclusiones de arena o escoria R: rechupe F: fisura D: desgarre I: inclusión

**Observaciones:**

Falta de penetración a lo largo de un 45% de la longitud el cordón. Probeta **RECHAZADA** (AWS D1.1)

**Procesamiento de la película**

Iluminación: foco 110v 15w	Filtro: Rojo KODAK 6B	Temperatura: 18°C
Revelado: 3 min	Baño de parada: 2 min	Fijado: 10 min
Lavado final: 30 min	Secado: 20 min	Temperatura: 22°C

**Operador:** Christian Villacrés

Nivel: I RI

Firma:

**Supervisor:** Ing. Miguel Villacrés

Nivel: III RI

Firma:

**LABORATORIO/Inendec SA.**

**CLIENTE**

Fecha:

Fecha:

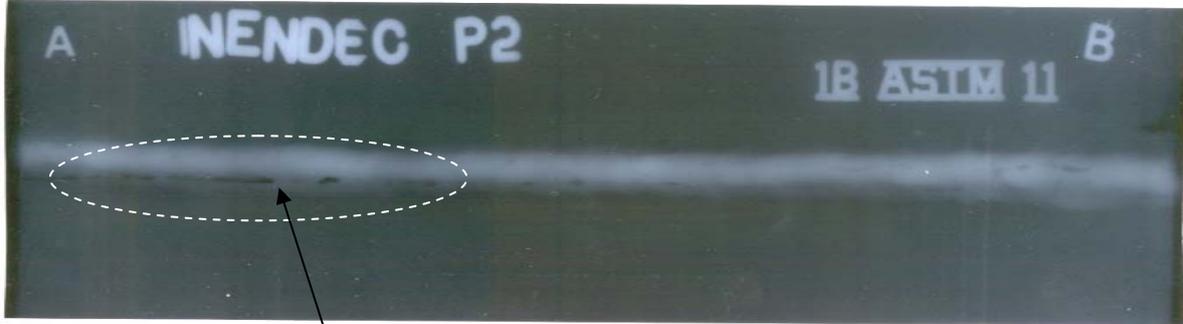
Firma:

Firma:

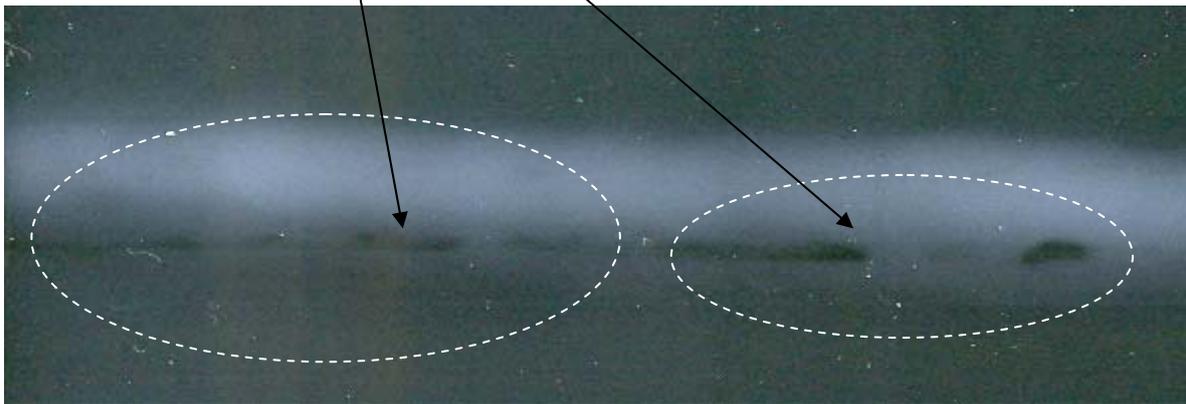


Imagen Radiográfica

4 de 4



Falta de penetración



## Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con ultrasonidos US

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 1 de 4</b>

### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia que se utilizarán como guías técnicas son:

- ASME V art 4, 5 -2004
- ANSI-AWS D1.1-2006

### Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel ASNT II. La persona que realizó el ensayo y registró los datos tiene calificación nivel ASNT I.

- Ing. Miguel Villacrés Nivel II
- Sr. Christian Villacrés Nivel I

### Equipos y materiales:

#### A) Equipo de ultrasonido

- Tipo: A scan
- Marca: Krautkramer
- Modelo: USM 32X
- Alimentación: batería lón litio
- Rango de frecuencia: 0,2-18 MHz
- Rango de frecuencia fina: 0.352MHz

#### B) Cables para transductores

- Cable coaxial

#### C) Transductores

- Transductor angular de: 70° - área de contacto: 1,5in<sup>2</sup> (225mm<sup>2</sup>)

#### D) Acoplante

- Solución de carboximetil celulosa



<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	<b>Pág. 2 de 4</b>

E) Bloques de calibración

- Bloque de calibración V1 y V2

F) Documentación

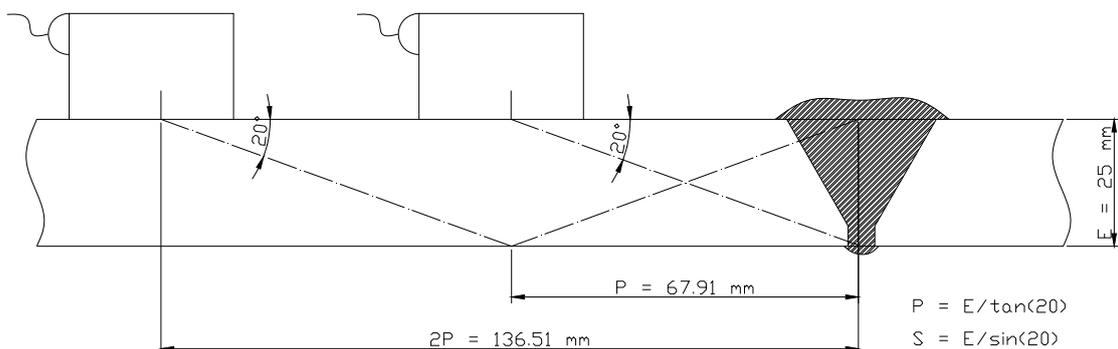
- Tabla 6.2. y 6.3. del código ANSI-AWS D1.1. 2006
- Plano de construcción con nomenclatura de soldadura

### Procesos

Dentro de la inspección por ultrasonidos se cumplieron los procesos de calibración e inspección propiamente dicho.

### Proceso de calibración

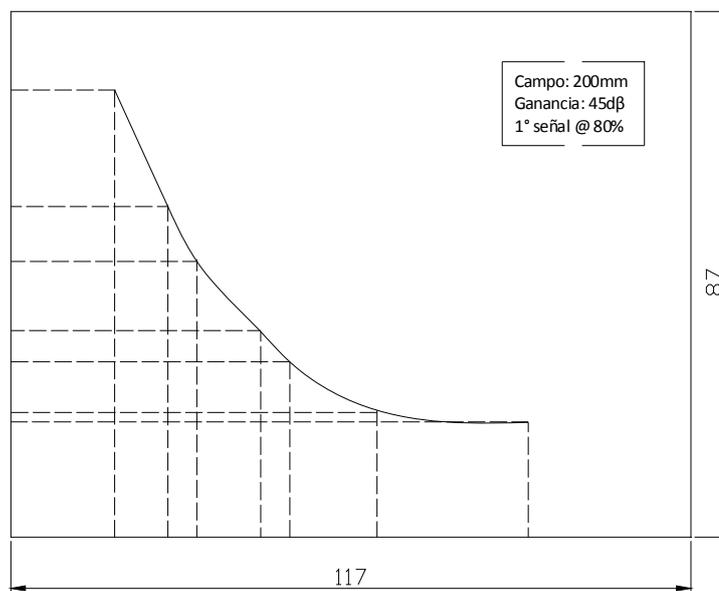
- Se utilizó el transductor angular de 70 grados con el cable coaxial respectivo.
- Se determinó que el punto de salida del Haz en el transductor es en la marca de 13 mm. incluida en la cubierta metálica del mismo.
- Se determinó que el ángulo real de salida del Haz es de 70 grados.
- Se determinó que el camino sónico para el espesor de 24 mm es de 66 – 132 mm.



**Fig. 6.2.** Esquema de distancias de inspección P y 2P

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 3 de 4</b>

- Se ajusta la pantalla para que en ella se representen 68 y 137mm. claramente en el eje horizontal, es decir un campo de 200mm.
- Con la ayuda de un patrón auxiliar se elaboró la curva DAC, donde la señal de mayor amplitud (la indicación mas cercana) sea representada por el 80% de la altura de pantalla modificando la ganancia y retardos de recepción y palpador. La ganancia máxima resultante es de 45.0 decibeles.



**Fig. 6.3.** Curva DAC adecuada para parámetros de inspección de probetas P1 y P2

### Proceso de inspección

- Se identificaron y se marcaron las zonas de inspección, así como las distancias X (longitud del cordón) y Y para el transductor de 70° (Y es de 27,47mm y 137.37mm).
- Se limpió el metal base adyacente al cordón de soldadura adecuado para inspeccionar la junta soldada. Esta limpieza logró que la superficie metálica sea lo suficientemente lisa para mantener un suave deslizamiento del transductor a través de la superficie.
- Se colocó el gel de carboximetil celulosa en la superficie de inspección con una brocha.

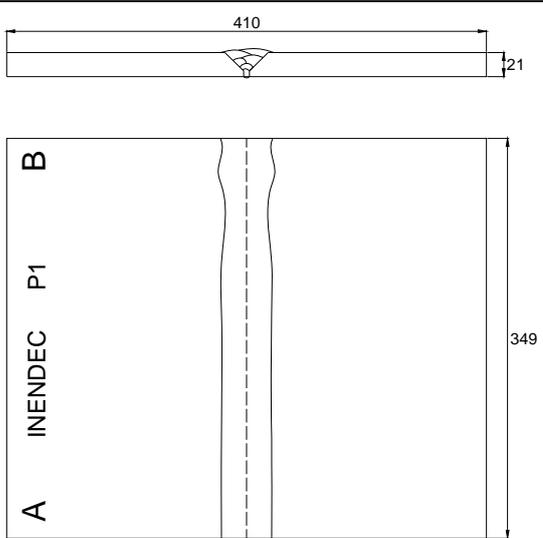
	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INUS01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Ultrasonidos - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 4 de 4</b>

- Se realizó el barrido ultrasónico con los movimientos A, B y C en toda la longitud del cordón de soldadura (zig-zag) como lo indica el código.
- Una indicación superó la curva DAC, entonces se marcó en un sitio visible las características de dicha discontinuidad, como profundidad y longitud. con la simbología sugerida en el informe – registro.
- Se registraron dichas indicaciones en la tabla de del informe.

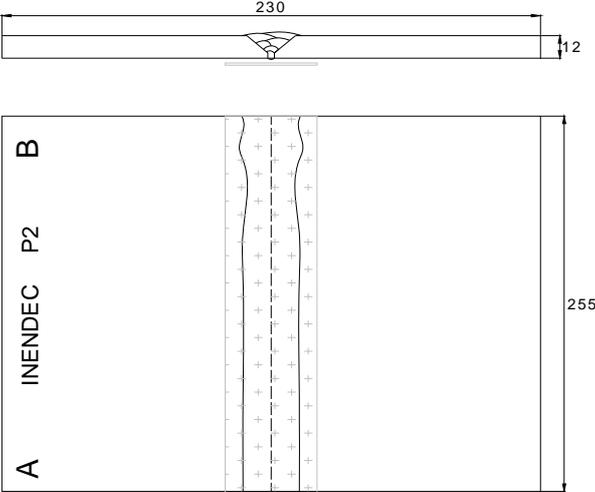
### **Normas de aceptación o rechazo**

Los criterios de aceptación y rechazó para la evaluación de las discontinuidades obtenidas en la inspección ultrasónica dependerán de la norma de soldadura ANSI-AWS D1.1. 2006 Sección 6.

Se adjunta a este documento los planos de construcción con nomenclatura de soldadura y la tabla 6.2. del código ANSI - AWS D1.1. 2006

		<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS</b>		<b>ND: ISU0001</b>
<b>Datos Generales</b>				<b>1 de 2</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto		
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 003		
<b>Identificación de la junta soldada</b>				
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 21mm de espesor			Identificación: P1	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal		
<b>Esquema de la junta</b>				
				
<b>Equipos y Materiales</b>				
<b>Equipo de Ultrasonido</b>				
Marca: Krautkramer	Modelo: USM 32X	Rango Frecuencia: 0,2 – 18 MHz	Fuente de poder: Bat: Ion –Litio	
<b>Transductor</b>				
Marca: Krautkramer	Tipo: Pulso-eco	Ángulo nominal: 70°	Frecuencia: 2 MHz	

	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND: ISU0001</b>	
	<b>INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS</b>		<b>2 de 2</b>	
Ganancia+: 7dB	Método: pulso – eco	Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1 2006 Tabla 6.2		
<b>Soldadura</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Espesor [mm]</b>	21			
<b>Identificación</b>	P1			
<b>Discontinuidades obtenidas</b>	FF			
<b>Longitud</b>	4 mm			
<b>Posición</b>	180 mm			
<b>Profundidad</b>	14mm			
<b>Nivel de severidad tabla 6.2</b>	Clase C			
<b>Aceptación</b>	Si			
<b>Rechazo</b>	-			
<b>Marcas:</b> P: porosidad FP: Falta de Penetración FF: Falta de Fusión EyR: Esmerilar y rellenar				
<b>Observaciones:</b>				
Indicación que no sobrepasa la curva DAC y es de longitud menor a 50 mm				
<b>Parámetros de Inspección</b>				
Campo: 200 mm	Ganancia: 46,5 dB	Velocidad de sonido: 3250m/s		
Retardo: 4.72 mm	Retardo Transductor: 2.00 µs	Acoplante: Solución de carboximetil celulosa		
Distancia X: 249 mm	Distancia Y: 61,4 mm – 122,8 mm	Velocidad de barrido: 0,0038 m/s		
<b>Operador: Christian Villacrés</b>				
Nivel: I Inspección Ultrasónica		Firma:		
<b>Supervisor: Ing. Miguel Villacrés</b>				
Nivel: III Inspección Ultrasónica		Firma:		
<b>LABORATORIO/ Inendec</b>		<b>CLIENTE</b>		
Fecha: 19/01/2009		Fecha: 19/01/2009		
Firma:		Firma:		

	<b>INENDEC SA</b>			<b>ND:ISU0002</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS</b>				
<b>Datos Generales</b>				<b>1 de 2</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto		
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 004		
<b>Identificación de la junta soldada</b>				
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 12mm de espesor			Identificación: P2	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal		
<b>Esquema de la junta</b>				
				
<b>Equipos y Materiales</b>				
<b>Equipo de Ultrasonido</b>				
Marca: Krautkramer	Modelo: USM 32X	Rango Frecuencia: 0,2 – 18 MHz	Fuente de poder: Bat: Ion -Litio	
<b>Transductor</b>				
Marca: Krautkramer	Tipo: Pulso-eco	Ángulo nominal: 70°	Frecuencia: 2 MHz	

	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND:ISU0002</b>
	<b>INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDOS</b>		<b>2 de 2</b>
Ganancia+: 7dB	Método: pulso - eco	Norma de aceptación-rechazo: AWS D1.1	
<b>Soldadura</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Espesor [mm]</b>	12	12	
<b>Identificación</b>	P2	P2	
<b>Discontinuidades obtenidas</b>	FF	FF	
<b>Longitud</b>	70 mm	37 mm	
<b>Posición</b>	0-70mm	85-122mm	
<b>Profundidad</b>	5mm	7mm	
<b>Nivel de severidad</b>	4	4	
<b>Aceptación</b>	-	FF	
<b>Rechazo</b>	FF EyR	-	
<b>Nota:</b> P: porosidad FP: Falta de Penetración FF: Falta de Fusión EyR: Esmerilar y rellenar			
<b>Observaciones:</b> Indicación 1 sobrepasa la curva DAC con ganancia adicional y de longitud mayor a 50 mm. Soldadura <b>Rechazada</b>			
<b>Parámetros de Inspección</b>			
Campo: 200 mm	Ganancia: 45,0 dB		Velocidad de sonido: 3250m/s
Retardo (Punto ini. ventana): 4.72 mm	Retardo Transductor: 2.00 µs		Acoplante: Solución de carboximetil celulosa
Distancia X: 249 mm	Distancia Y: 31,4 mm – 62,8 mm		Velocidad de barrido: 0,0038 m/s
<b>Operador: Christian Villacrés</b>			
Nivel: I Inspección Ultrasónica		Firma:	
<b>Supervisor: Ing. Miguel Villacrés</b>			
Nivel: III Inspección Ultrasónica		Firma:	
<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>		<b>CLIENTE</b>	
Fecha: 19/01/2009		Fecha: 19/01/2009	
Firma:		Firma:	

## Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Tintas Penetrantes TP

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INTP01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Penetrantes TP - Estructuras	<b>Pág. 1 de 2</b>

### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V art 6 - 2004
- ANSI - AWS D1.1 - 2006

### Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel ASNT II.

La persona que realizó el ensayo y registró los datos es calificado nivel ASNT I.

- Ing. Miguel Villacrés Nivel II
- Sr. Christian Villacrés Nivel I

### Equipos y materiales

Líquidos: al aplicar la técnica B3, se empleará solvente, líquido penetrante coloreado, revelador y limpiador.

Accesorios: se utilizó equipo para limpieza previa del cordón de soldadura y adicionalmente equipo y vestimenta industrial para realizar esta actividad tal como pantalla protectora, guantes, zapatos con punta de acero, overall de tela resistente. Para la limpieza inicial se utilizó amoladora portátiles y cepillos circulares de alambre marca Faesi® adecuadas para esta limpieza y con una dureza no mayor a la soldadura y metal base, permitiendo retirar escoria, restos de chisporroteo, etc. Para las limpiezas intermedias dentro del ensayo, se utilizó tela cruda de algodón. Se utilizó cámara fotográfica digital para registrar los resultados del ensayo.

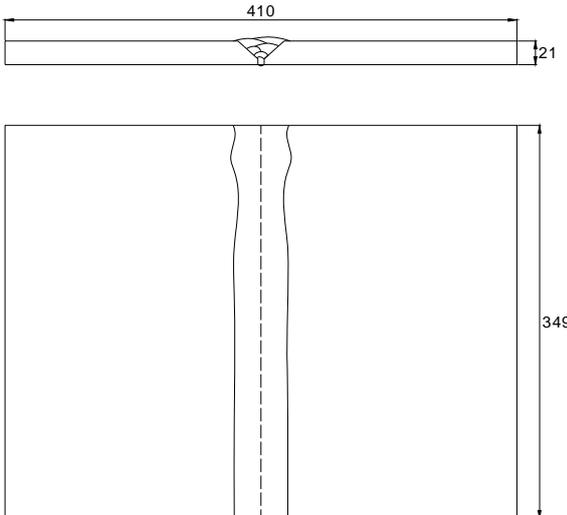
Documentos: Tabla 6.1 de ANSI-AWS D1.1. 2006

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INTP01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 2 de 2</b>

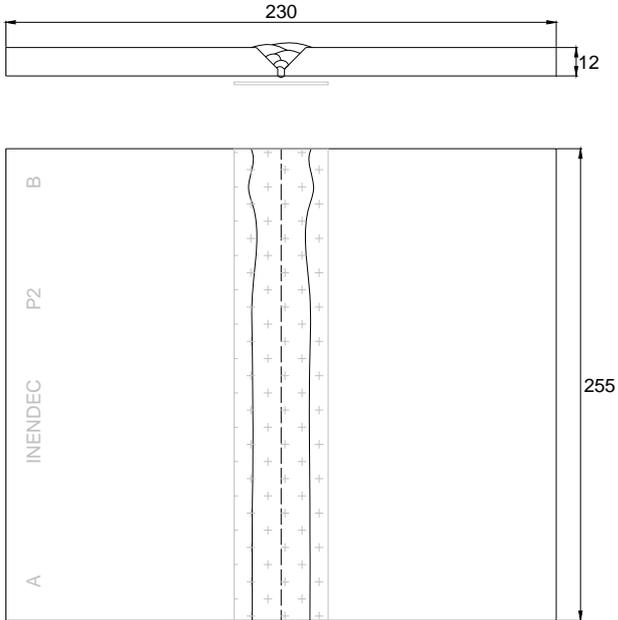
### **Proceso**

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes se la realizó mediante estos pasos:

- Limpieza de la superficie a inspeccionarse, se la realizó con el cepillo circular de alambre suave y la amoladora portátil para que el cordón de soldadura, retirando todo material diferente al metal base y de aporte en el cordón de soldadura
- Limpieza con solvente, ésta se realizó con el paño de tela empapado de líquido limpiador (cleaner), asegurando la eliminación de toda la pintura.
- Aplicación del penetrante, el cual se aplica sobre la superficie del cordón de soldadura, se dio una pasada de fluido constante, cubriendo todo el cordón de tinte coloreado rojo, el tiempo de permanencia del penetrante fue mayor de cinco minutos.
- Eliminación del exceso de penetrante se realizó con mas paño de tela y se retiró la mayor cantidad de penetrante posible.
- Limpieza del penetrante, esto se realizó con el paño de tela humedecido con limpiador (cleaner) para remover el penetrante de la superficie inmediata de la soldadura sin remover el penetrante del interior de posibles discontinuidades.
- Revelado, se aplicó el revelador sobre el cordón de soldadura libre de excesos de penetrante, asegurando la cobertura del cordón de soldadura y estrechas zonas adyacentes con revelador. Se deja actuar el revelador por cinco minutos para obtener una indicación adecuada.
- Inspección y evaluación, el penetrante que ha ingresado en el interior de la discontinuidad tintura el revelador con su color, es por eso que se ha realizado varias revisiones durante los cinco minutos de revelado, observando la evolución del proceso químico.
- Marcado de las discontinuidades: como no se encontró discontinuidades relevantes, no fue necesario marcar en la probeta.

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR LIQUIDOS</b> <b>PENETRANTES</b>	<b>ND:ISP0001</b>
<b>Datos Generales</b>		<b>1 de 2</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 005
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>		
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 21mm de espesor		Identificación: P1
Material: Acero ASTM A36	Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal	
<b>Esquema de la junta soldada</b>		
		

<b>Equipos y Materiales</b>		<b>2 de 2</b>		
<b>Líquidos</b>				
Limpiador/Removedor: Magnaflux Spotcheck SKC-S Cleaner/Remover		Emulsificador: Ninguno		
Penetrante: Magnaflux Spotcheck SKL-SP1 Penetrant		Revelador: Magnaflux Spotcheck SKD-52 Developer		
Accesorios: Solvente, Brochas, Paños, Cepillos de alambre, esmeriladoras, cámara fotográfica				
<b>Registro</b>				
<b>Indicación</b>	1	2	3	4
<b>Posición</b>				
<b>Referencia</b>				
<b>Longitud</b>				
<b>Tipo</b>				
<b>Aceptación /Rechazo</b>				
<b>Reparación</b>				
<b>Marcas:</b> Poro, <b>M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar				
<b>Operador:</b> Christian Villacrés				
Nivel: I líquidos Penetrantes		Firma:		
<b>Supervisor:</b> Ing. Miguel Villacrés				
Nivel: III líquidos Penetrantes		Firma:		

<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>		<b>CLIENTE</b>	
Fecha: 19/01/2009		Fecha: 19/01/2009	
Firma:		Firma:	
	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND: ISP0002</b>
<b>INFORME DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES</b>			
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 2</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto	
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 006	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 12mm de espesor		Identificación: P2	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal	
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
			



**Fotografías de inspección con Tintas Penetrantes**

	<b>INENDEC SA</b>	<b>ND: ISP0002</b>
	<b>INFORME DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES</b>	

<b>Equipos y Materiales</b>	<b>2 de 2</b>
-----------------------------	---------------

**Líquidos**

Limpiador/Removedor: Magnaflux Spotcheck SKC-S Cleaner/Remover	Emulsificador: ninguno
---	---------------------------

Penetrante: Magnaflux Spotcheck SKL-SP1 Penetrant	Revelador: Magnaflux Spotcheck SKD-52 Developer
--	--

Accesorios:  
Solvente, Brochas, Paños, Cepillos de alambre, esmeriladoras, cámara fotográfica

**Registro**

Indicación	1	2	3	4
Posición				
Referencia				
Longitud				
Tipo				
Aceptación /Rechazo				
Reparación				

Marcas: Poro, M mordedura, F Fisura, CR Cráter, CP Colonia poros, EyR Esmerilar y Rellenar

**Operador:** Christian Villacrés

Nivel: I Inspección con líquidos Penetrantes	Firma:
--	--------

**Supervisor:** Ing. Miguel Villacrés

Nivel: III Inspección líquidos Penetrantes	Firma:
--	--------

<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b> Fecha: 19/01/2009 Firma:	<b>CLIENTE</b> Fecha: 19/01/2009 Firma:
--	---

**Probeta P1**



**Probeta P2**



**6.5. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Partículas Magnéticas PM**

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 1 de 3</b>

### **Normas de referencia**

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V-2004 : subsección A, Art 7; subsección B Art 25
- ANSI-AWS D 1.1.-2006 Sec. 6

### **Personal**

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel ASNT II.

La persona que realizó el ensayo y registró los datos es calificado nivel I.

- Ing. Miguel Villacrés Nivel II
- Sr. Christian Villacrés Nivel I

### **Equipos y materiales**

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizó un yugo de patas fijas, como el código de referencia lo estipula.

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- a) Equipo de magnetización
  - Yugo de patas fijas marca Magnaflux®.
- b) Medios de aplicación
  - Espolvoreador
  - Brocha
- c) Partículas magnéticas
  - Partículas secas Magnaflux®
  - Partículas en suspensión acuosa Magnaflux®

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INPM01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas	<b>Fecha: 13/02/09</b>
	Magnetizables - Estructuras	<b>Pág. 2 de 3</b>

d) Elementos de limpieza

- Paños, solventes, cepillo de alambre Faesi®, etc.

e) Elementos de protección

- Mandil, overol, guantes, pantalla protectora, zapatos industriales, etc.

f) Accesorios

- Cámara fotográfica
- Revelador (contraste)

g) Documentación

- Tabla 6.1 de ANSI-AWS D1.1. 2006

### Proceso

- Se limpió la superficie de ensayo. Esta limpieza se realizó con el cepillo circular de alambre accionado por esmeriladora. El objetivo de esta limpieza es mejorar la movilidad de las partículas magnéticas
- Se comprobó que la fuerza portante del yugo en corriente alterna es 4.5 kg.
- A continuación se realizó la magnetización del cordón de soldadura mediante el yugo de patas fijas y conductor central. Se aplicó el campo y las partículas simultáneamente sobre el área de inspección.
- Se aplicó las partículas magnéticas en forma directa sobre la superficie a inspeccionar mediante el uso del espolvoreador de partículas secas y se utilizó un aerosol o pulverizador eléctrico para partículas húmedas.
- Se permitió transcurrir cinco minutos, tiempo de acción y transporte de las partículas, asimismo, se iluminó la probeta con la fuente de luz ultravioleta para visualizar, interpretar y evaluar las indicaciones obtenidas.
- Como no se encontró indicaciones relevantes, no fue necesario marcar la probeta.
- Finalmente se limpió y se desmagnetizó las probetas, alejando el campo magnético del yugo, colocado en la misma dirección del campo residual (perpendicular al sentido de la aplicación del campo), de una forma brusca.

**INENDEC SA****INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS****ND:ISM0001****Datos Generales****1 de 2**

Laboratorio:

INENDEC SA

Cliente:

Proyecto

Fecha: 19/01/2009

Lugar: Quito

Informe N°: 007

**Identificación de la Junta Soldada**

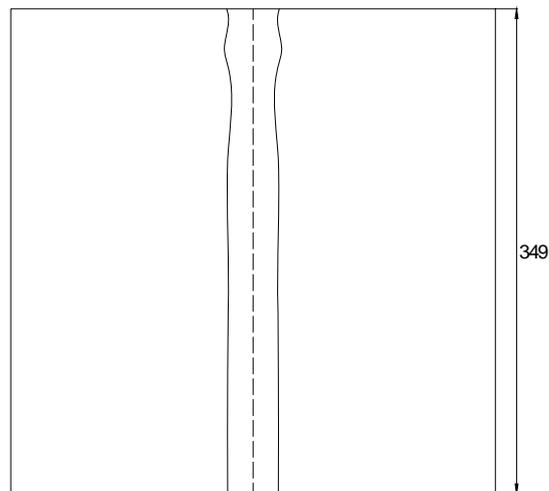
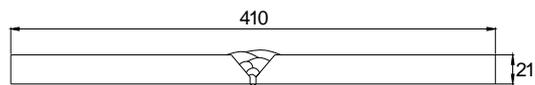
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 21mm de espesor

Identificación: P1

Material: Acero ASTM A36

Estado de cordón de soldadura:

Rugosidad normal

**Esquema de la junta soldada**



**INENDEC SA**

**INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS**

**ND:ISM0001**

**Equipos y Materiales**

**2 de 2**

**Equipo de magnetización**

Tipo: Yugo de patas fijas y conductor central

Marca:

Magnaflux®

Amperaje nominal:

6A

**Tipo de Partículas:** Secas y fluorescentes suspendidas en medio húmedo

**Registro**

Indicación	1	2	3	4
Posición				
Referencia				
Longitud				
Tipo				
Aceptación /Rechazo				
Reparación				

Marcas: Poro, M mordedura, F Fisura, CR Cráter, CP Colonia poros, EyR Esmerilar y Rellenar

**Resultados**

Tipo de Discontinuidad: ninguna	Observaciones: Las partículas se acumulan en la frontera soldadura-metal base	Evaluación: La soldadura no tiene discontinuidades superficiales ni subsuperficiales
---------------------------------------	---	---

**Operador:** Christian Villacrés

Nivel: I Partículas Magnéticas

Firma:

**Supervisor:** Ing. Miguel Villacrés

Nivel: III Partículas Magnéticas

Firma:

**LABORATORIO/ Inendec SA.**

Fecha: 19/01/2009

Firma:

**CLIENTE**

Fecha: 19/01/2009

Firma:

	<b>INENDEC SA</b> <b>INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS</b>		<b>ND:ISM0002</b>
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 2</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto	
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 008	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 12mm de espesor		Identificación: P2	
Material: Acero ASTM A36	Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal		
<b>Esquema de la junta soldada</b>			

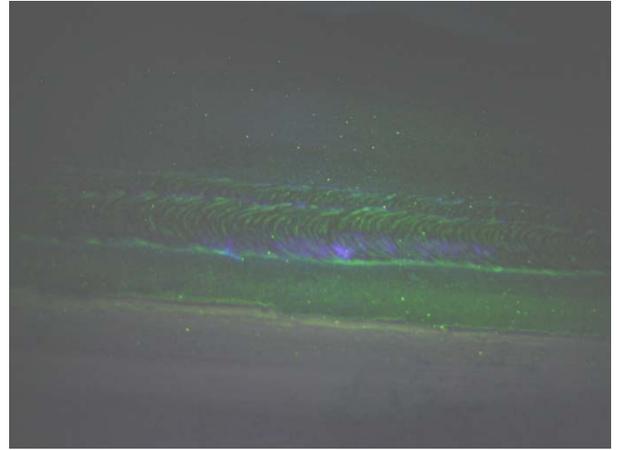
		<b>INENDEC SA</b>		<b>ND:ISM0002</b>																													
<b>INFORME DE INSPECCION POR PARTÍCULAS MAGNETICAS</b>																																	
<b>Equipo de magnetización</b>																																	
Tipo: Yugo de patas fijas y conductor central																																	
Marca: Magnaflux		Amperaje nominal: 6A																															
<b>Tipo de Partículas:</b> Secas y fluorescentes suspendidas en medio húmedo																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Indicación</th> <th style="width: 16.5%;">1</th> <th style="width: 16.5%;">2</th> <th style="width: 16.5%;">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Posición</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceptación /Rechazo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reparación</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Indicación	1	2	3	Posición				Referencia				Longitud				Tipo				Aceptación /Rechazo				Reparación			
Indicación	1	2	3																														
Posición																																	
Referencia																																	
Longitud																																	
Tipo																																	
Aceptación /Rechazo																																	
Reparación																																	
<b>Resultados</b>																																	
Tipo de Discontinuidad: ninguna		Observaciones: Las partículas se acumulan en la frontera soldadura-metal base		Evaluación: La soldadura no tiene discontinuidades superficiales ni subsuperficiales																													
<b>Operador:</b> Christian Villacrés																																	
Nivel: I Inspección Partículas Magnetizables			Firma:																														
<b>Supervisor:</b> Ing. Miguel Villacrés																																	
Nivel: III Inspección Partículas Magnetizables			Firma:																														
<b>LABORATORIO/ Inendec SA.</b>			<b>CLIENTE</b>																														
Fecha: 19/01/2009			Fecha: 19/01/2009																														
Firma:			Firma:																														

**Fotografías de inspección con Partículas Magnéticas**

**Probeta P1**



**Vía Seca**

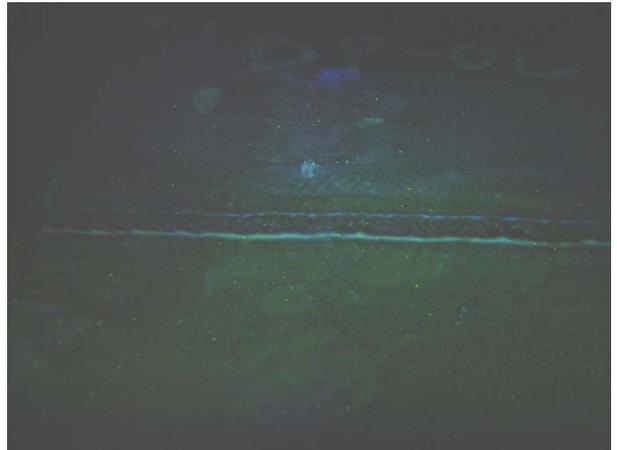


**Vía húmeda (fluorescentes)**

**Probeta P2**



**Vía Seca**



**Vía húmeda (fluorescentes)**

## 6.6. Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Inspección Visual IV

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INIV01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Inspección Visual - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 1 de 2</b>

### Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V- 2004 Art. 9
- AWS D1.1 2006 Tabla 6.1

### Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel ASNT II.

La persona que realizó el ensayo y registró los datos es calificado nivel ASNT I.

- Ing. Miguel Villacrés Nivel II
- Sr. Christian Villacrés Nivel I

### Equipos y materiales

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- Flexómetro
- Luz artificial (reflector)
- Cámara fotográfica, lupa, etc.
- Cepillo circular de alambre Faesi®
- Elementos de protección
- Tabla 6.1 de ANSI-AWS D1.1. 2006
- Planos de construcción con nomenclatura de soldadura

	<b>INENDEC SA</b>	<b>PR:INIV01</b>
	Procedimiento escrito para Inspección con Inspección Visual - Estructuras	<b>Fecha: 13/02/09</b>
		<b>Pág. 2 de 2</b>

### **Proceso**

- Se limpió la superficie del cordón de soldadura de las probetas con cepillo circular de alambre accionado por esmeriladoras.
  
- A continuación se verificó características geométricas de la soldadura respecto al diseño de la junta, como ancho del cordón, presentación, perfil de la soldadura, siendo éste ligeramente convexo.
  
- Al no encontrarse indicaciones relevantes, no fue necesario marcar las probetas ni registrar datos de posibles discontinuidades.

	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND:ISV0001</b>
<b>.INFORME DE INSPECCION VISUAL</b>			
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 1</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto	
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°: 009	
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 21mm de espesor		Identificación: P1	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal	
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
<b>Marcas: Poro, M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar			
<b>Resultados</b>			
Tipo de Discontinuidad: Ninguna	Observaciones: El cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades visibles	Evaluación: Presentación y acabado correcto	
<b>Inspector:</b> Christian Villacrés			
Nivel: I Inspección de soldadura		Firma:	
<b>Supervisor:</b> Ing. Miguel Villacrés			
Nivel: III Inspección de soldadura		Firma:	
<b>INENDEC</b>		<b>CLIENTE</b>	
Fecha: 19/01/2009		Fecha: 19/01/2009	
Firma:		Firma:	

	<b>INENDEC SA</b>		<b>ND:ISV0002</b>
<b>INFORME DE INSPECCION VISUAL</b>			
<b>Datos Generales</b>			<b>1 de 1</b>
Laboratorio: INENDEC SA		Cliente: Proyecto	
Fecha: 19/01/2009	Lugar: Quito	Informe N°:	010
<b>Identificación de la Junta Soldada</b>			
Descripción: Soldadura de calificación de procedimiento con SMAW para 12mm de espesor		Identificación: P2	
Material: Acero ASTM A36		Estado de cordón de soldadura: Rugosidad normal	
<b>Esquema de la junta soldada</b>			
<b>Marcas:</b> Poro, <b>M</b> mordedura, <b>F</b> Fisura, <b>CR</b> Cráter, <b>CP</b> Colonia poros, <b>EyR</b> Esmerilar y Rellenar			
<b>Resultados</b>			
Tipo de Discontinuidad: Ninguna	Observaciones: El cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades visibles	Evaluación: Presentación y acabado correcto	
<b>Inspector:</b> Christian Villacrés			
Nivel: I Inspección de soldadura		Firma:	
<b>Supervisor:</b> Ing. Miguel Villacrés			
Nivel: III Inspección de soldadura		Firma:	
<b>INENDEC</b>		<b>CLIENTE</b>	
Fecha: 19/01/2009		Fecha: 19/01/2009	
Firma:		Firma:	

### **6.7. Resultados obtenidos con los ensayos con RI, US, TP, PM e IV.**

La soldadura de la probeta P1, respecto a lo dictaminado en el criterio de aceptación del código, es aceptable, pues está bajo el límite escogido, que fue Clase C, que indica que para el espesor de 21 mm. La ganancia adicional luego de la calibración de la curva DAC debe ser de +7 dB, si el eco resultante sobrepasa dicha curva, y la indicación es igual o mayor a 2" (50mm), la soldadura debe ser rechazada.

La soldadura de la probeta P2 es rechazada, pues, en el ensayo radiográfico, es evidente la falta de fusión, mientras que, en ultrasonido, las discontinuidades clase C, encontradas sobrepasan la longitud de 2" con una ganancia adicional de +7 dB.

Los ensayos superficiales realizados a las probetas P1 y P2 no reflejan discontinuidades abiertas a la superficie ni irregularidades pronunciadas.

### **6.8. Evaluación del resultado RI, US, TP, PM e IV.**

Mediante los ensayos realizados a los cordones de soldadura, se puede verificar que los métodos volumétricos reflejaron discontinuidades internas, haciéndose evidente que los resultados arrojados por el ensayo ultrasónico son equivalentes en relación a la radiografía.

Los métodos de inspección superficiales no reflejaron ninguna discontinuidad, lo que evidencia que estos ensayos tienen una limitación importante que deberá ser tomada en cuenta el momento de escoger el método más adecuado de inspección en cada caso.

Como consecuencia del rechazo de la soldadura de la probeta P2 (si la misma fuese un elemento estructural), debería ser reparada, esmerilando hasta desaparecer la discontinuidad, entonces visible, y luego rellenar con soldadura nueva y con un procedimiento calificado. Esto, bajo supervisión del inspector de soldadura.

## CAPÍTULO 7

### EVALUACIÓN ECONÓMICA.

#### 7.1. Costos de Producción

Toda empresa al producir incurre en costos. Los costos de producción están en el centro de las decisiones empresariales, ya que todo incremento en los costos de producción normalmente significa una disminución de los beneficios de la empresa. De hecho, las empresas toman las decisiones sobre la producción y las ventas a la vista de los costos y los precios de venta de los bienes que lanzan al mercado.

En el caso de INENDEC S.A estos costos son los correspondientes a los gastos que genera el transporte, compra de insumos, alimentación del personal, y otros gastos de oficina, todos a continuación detallados en las Tablas 7.1 y 7.2:

#### Costos Fijos

Factores Fijos	Costos Fijos	Monto
Equipo de US	Depreciación	1350
Equipo de Magnetización	Depreciación	50
Vehículo	Depreciación	650

**Tabla 7.1** Costos fijos de Producción anuales

#### Costos Variables

Factores Fijos	Costos Fijos	Monto
Servicios básicos	Tarifa	1224
Transporte	Precio	360
Insumos	Precio	740
Mano de Obra Indirecta	Sueldos	44.900

**Tabla 7.2** Costos Variables de Producción anuales

### **7.1.1. Costos de Equipos.**

INENDEC SA. Posee actualmente un equipo de ultrasonidos de emisión continua marca Krautkramer® con transductores de 45°, 60°, 70°, Transductores planos y un transductor dual para medición de espesores. Este equipo con sus accesorios, y patrones de calibración alcanzó un costo para la empresa de \$15.000 USD.

Mediante cotizaciones facilitadas para este proyecto, se estimó que un equipo de magnetización portátil de patas móviles de marca Magnaflux®, tiene un precio de \$600USD que se lo ha tomado en cuenta en el estudio económico.

### **7.1.2. Costo de Instalaciones.**

INENDEC SA posee actualmente una oficina donde se realiza el trabajo administrativo, como la elaboración de los informes de inspección, contabilidad, contactos telefónicos, etc. que resulta suficiente ante los bajos requerimientos de actividades de oficina, por lo que no se halla previsto que la empresa realice otra inversión en instalaciones.

Tratándose del área de producción, dicha actividad se desarrolla en sitio, es decir en el lugar donde es ensamblada la estructura, ó, en su defecto, en la planta que produzca los elementos estructurales, como vigas, columnas, etc. que en ambos casos son instalaciones ajenas a INENDEC S.A.

Para esta actividad se necesita andamiaje, como escaleras tipo A, extensiones eléctricas de al menos 30m. de longitud y ocasionalmente 2 módulos apilables metálicos. En conjunto, Este equipamiento llega a un costo de \$400USD, y la empresa y los posee, por lo que no se ha tomado en cuenta estos valores, que además por su valor no influyen dentro del ejercicio económico de la empresa.

### 7.1.3. Costo de capacitación, calificación y certificación de personal técnico.

Para la capacitación al personal técnico, se realizaron con anterioridad varias cotizaciones en el mercado interno, siendo la mejor alternativa la presentada por CENDE, que proporciona Capacitación y Certificación a un costo aceptable, en un tiempo adecuado, para los requerimientos de la empresa.

Para esta elección se ha tomado en cuenta los contenidos académicos, y el tiempo de instrucción práctica, que dicha empresa ofrece en ensayos como: ultrasonidos, líquidos penetrantes, radiografía industrial y partículas magnéticas.

Con esta capacitación la empresa obtendrá personal técnico con la adecuada formación teórica y práctica, necesaria para ofrecer el servicio de inspección a empresas constructoras de grandes volúmenes de producción, que exijan dicha calidad de sus proveedores.

A continuación, en la tabla 7.3 se detallan la inversión que se realizara con CENDE:

<b>CURSO</b>	<b>NIVEL ASNT</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Ultrasonido	I y II	40 horas	700+iva
Tintas Penetrantes	I y II	24 horas	400+iva
Radiografía Industrial	I y II	40 horas	800+iva
Partículas Magnéticas	I y II	24 horas	400+iva

**Tabla 7.3:** Información básica de cursos de END ofertados por CENDE

La tabla anterior resume datos concernientes a la instrucción de un técnico de END, en horarios especificados por CENDE, por lo que INENDEC SA. Deberá tener en cuenta la disponibilidad de su personal con respecto al tiempo.

Como se ha previsto inicialmente, la empresa poseerá entre su personal 2 técnicos nivel II y 2 técnicos Nivel I. Estos 4 colaboradores recibirán formación en los cuatro tipos de ensayo.

La inversión total para el rubro de capacitación, calificación y certificación del personal técnico, asciende a \$9200, valor que se ajusta al presupuesto preestablecido para Capacitación de INENDEC SA.

## **7.2. Costos Administrativos**

### **7.2.1. Certificación de equipos y procedimientos.**

Los equipos de ultrasonidos nuevos, los transductores, e incluso los cables, así como equipos de magnetización vienen con sus propios certificados de fábrica y control de calidad de la marca, por lo que inicialmente no existirán gastos en este rubro.

La vigencia de estos certificados es de aproximadamente 4 años, periodo que varía dependiendo del fabricante, e incluso algunas marcas ofrecen servicio técnico post-venta como en el caso de Panametric® facilitando la extensión de estos certificados.

Como dato adjunto, se afirma que los nuevos equipos permanecen inalterables con respecto a su parte interna, es decir su curva característica se mantiene invariable, a diferencia de equipos de tecnología anterior en los que el tiempo de uso afectaba significativamente su desempeño.

### **7.2.2. Certificación de la empresa.**

Las empresas pueden lograr ventajas competitivas a través del desarrollo de un sistema de Gestión de la Calidad, definir e implantar un conjunto de actividades que garanticen que se obtiene la calidad prevista. Optimizar recursos, reducción de fallos y costes, obtener la satisfacción del cliente y propia, son algunos de los objetivos de una Certificación.

La norma ISO 9001:2000 es un modelo de gestión de la calidad con un enfoque en procesos en el que juega un papel sumamente importante, entre otros aspectos, la satisfacción del cliente y la mejora continua. Sus requisitos son flexibles y fácilmente adaptables a las necesidades y características de cada organización, por lo que es una herramienta que permite ser más Competitiva a las empresas.

Inendec S.A. se encuentra en un proceso, en etapas iniciales, de certificación ISO para pequeñas y medianas empresas, auspiciado por el Ministerio de Industrias y Competitividad y la Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha.

### 7.2.3. Remuneraciones Administrativas

En función de los ingresos proyectados de la empresa, la remuneración del personal administrativo se presenta en la tabla 7.4.

<b>Gastos Administrativos</b>	Sueldo	meses	costo anual
Asesor Legal	500	1	500
Asesor Contable	500	12	6.000
Gerente Administrativo	700	12	8.400
Gerente General	1.000	12	12.000

**Tabla 7.4.** Remuneración Personal Administrativo

Se toma en cuenta el pago de remuneración al Asesor Legal por una sola vez puesto que los servicios de este profesional, se emplearan únicamente para el establecimiento de la empresa. En otros eventos, este tipo de egresos serán contabilizados como gastos variables imprevistos.

Las remuneraciones expuestas en la Tabla 7.5 están en relación con el mercado laboral y corresponden a los salarios percibidos actualmente en el Ecuador.

<b>Personal Técnico</b>	Sueldo	meses	costo anual
Técnico Nivel 2	400	12	4.800
Técnico Nivel 1	300	12	3.600
Gerente Técnico	800	12	9.600
<b>TOTAL REMUNERACIONES</b>			<b>44.900</b>

**Tabla 7.5.** Remuneración Personal Técnico

## **7.2.2. Establecimiento de la Empresa**

El centro de operaciones de Inendec S.A. se localizará en Quito, calle Gral. Vicente Anda Aguirre Oe5-188 y Machala, San Pedro Claver, donde actualmente se encuentra la oficina en la que se realizan las actividades administrativas.

El primer paso es definir y notarizar los Estatutos de la empresa y el nombramiento del Representante Legal de la misma.

El segundo paso, con los documentos anteriores, es la obtención del Registro Único de Contribuyentes en el Servicio de Rentas Internas, trámite que es gratuito e inmediato. Con este requisito, se procede a la elaboración de facturas.

El siguiente paso es la inscripción de la empresa en la Superintendencia de Compañías, los rubros para estos trámites están contemplados en el presupuesto proyectado. El tiempo estimado para la legalización de la empresa es de ocho días laborables.

Adicionalmente es aconsejable la afiliación a la Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha (CAPEIPI) y a otras agrupaciones gremiales afines locales (Cámara de la Construcción). Algunos de sus requisitos de afiliación son:

- Copia de la Escritura de Constitución
- Copia de la resolución de la Superintendencia de Compañías
- Copia de los nombramientos de gerente y presidente
- Copia del RUC
- Copia de la cédula de ciudadanía
- Lista de maquinarias y equipos valorados a precio de costo
- Croquis de la ubicación con la dirección exacta de la empresa

Los costos de afiliación, en el primer año, son de 340 USD, que contempla:

- 100 USD, que corresponde a los derechos de inscripción.
- 240 USD, que corresponde a la cancelación del primer año de afiliación.

A partir del segundo año, la cancelación de los derechos de afiliación se lo puede hacer de manera mensual, que significarían 20 USD. Estos costos se han incluido en el análisis económico de este capítulo y tomado en cuenta en el Anexo M.

Para realizar trabajos con instituciones del Estado es necesario inscribir la empresa en el Sistema Nacional de Contratación Pública del Ministerio de Industrias y Competitividad, cuyos requisitos se encuentran en el portal web <http://www.compraspublicas.gov.ec>

### **7.3. TIR y VAN**

La evaluación del proyecto pretende contestar el interrogante de si es o no conveniente realizar la inversión, los beneficios del mismo deben superar a sus costos y obtenerse una rentabilidad aceptable para ello se presentan los principales indicadores que se utilizan para determinar la conveniencia financiera del proyecto a partir del Flujo de Caja incluido en el Anexo M, el Valor Actual Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El TIR y VAN dan una medida del atractivo financiero que tiene el proyecto para cualquier fuente de financiamiento

Se realizó la evaluación del proyecto mediante la obtención de la TIR financiera con Flujo de Caja, siguiendo los procedimientos detallados a continuación:

- Los beneficios son calculados en períodos de un año.
- La decisión de invertir o no, en el proyecto, se tomará si la TIR es mayor que la tasa mínima de atraktividad, en el caso de nuestro país es del 11,83% tasa activa máxima para PYMES a la fecha de la investigación febrero del 2009.

El valor que iguala el Valor Actual del Flujo de Costos de un proyecto, con el Valor Actual correspondiente al Flujo de Beneficios, se conoce como Tasa Interna de Retorno (TIR). La TIR es un valor determinado a partir simplemente de los propios flujos del proyecto, sin necesidad de arbitrarse una tasa de descuento.

Condición de la TIR:

$$\sum \text{Flujo de Beneficios} - \sum \text{Flujo de Costos} = 0$$

En los 5 años proyectados.

#### FLUJO DE CAJA

CONCEPTO \ PERIODOS	0	1	2	3	4	5
<b>A. INGRESOS TOTALES</b>	<b>0</b>	<b>78600</b>	<b>78600</b>	<b>78600</b>	<b>78600</b>	<b>78600</b>
Inspecciones a Soldadura		72600	72600	72600	72600	72600
<b>OTROS INGRESOS</b>						
Medición Espesores		1200	1200	1200	1200	1200
Procedimientos de soldaduras		1200	1200	1200	1200	1200
Calificación Soldadores		2400	2400	2400	2400	2400
Peritaje		1200	1200	1200	1200	1200
<b>B. EGRESOS TOTALES</b>	<b>51.924</b>	<b>49.274</b>	<b>49.274</b>	<b>49.274</b>	<b>49.274</b>	<b>49.274</b>
Compras de activos locales	23.600	0	0	0	0	0
Depreciaciones	0	2050	2050	2050	2050	2050
<b>Costos Variables</b>						
Insumos	740	740	740	740	740	740
Servicios básicos	1224	1224	1224	1224	1224	1224
Transporte	360	360	360	360	360	360
<b>Gastos Administrativos</b>						
Remuneraciones	0	44900	44900	44900	44900	44900
Certificación Empresarial	26.000					
<b>C. FLUJO DE CAJA</b>	<b>-51.924</b>	<b>29.326</b>	<b>29.326</b>	<b>29.326</b>	<b>29.326</b>	<b>29.326</b>

**Tabla 7.6** Flujo de Caja en un período de 5 años para Inendec S.A.

TIR	49%
tasa activa PYMES 09/02	11,83%
VAN	\$ 48.499

**Tabla 7.7.** TIR y VAN

Al ser la TIR de 49%, mayor a la Tasa Activa efectiva máxima para PYMES que es de 11,83%, *se acepta el Proyecto*, ó resulta ser un proyecto rentable.

El VAN calculado con la tasa activa efectiva máxima para PYMES refleja que la inversión a 5 años traída a la fecha actual representa una rentabilidad de USD \$48.500.

Para el cálculo del Flujo de Caja, TIR y VAN se utilizó MS Excel®, cuyas tablas se encuentran en el Anexo M.

#### **7.4. Beneficios obtenidos al implementar los procedimientos de inspección**

En forma de un plan piloto, se ha utilizado los procedimientos elaborados en este proyecto, aplicándolos desde el mes de marzo hasta el mes de abril del año 2009 en inspección estructural de pequeños volúmenes y se realizó una comparación con trabajos de semejantes longitudes de inspección y características constructivas.

Los beneficios que se obtienen por la implementación de los procedimientos de inspección logrados en el capítulo 5 y 6 se pueden dividir en la reducción de los costos que intervienen en el proceso de inspección, en el aumento de ingresos por inspección, a causa de la implementación de los procedimientos mencionados y en la reducción de los tiempos globales estimados de inspección y re inspección.

##### **7.4.1. Reducción de costos de Inspección**

Los costos de inspección anteriores a la implementación de los procedimientos, comparados con los costos en los que se incurrió al adoptar esta nueva metodología, reflejan una reducción de un 8%, porcentaje que aumentaría en el caso de grandes volúmenes de trabajo, donde la cantidad de eventualidades que generen gastos innecesarios se reduzcan con trabajos similares. Por

experiencia, cuando hay mayores volúmenes de inspección, ocurren errores como:

- La omisión de registro de cordones inspeccionados
- No marcado adecuado de cordones inspeccionados y sus posibles indicaciones en sitio
- Omisión de pasos dentro de los procedimientos de inspección
- Olvido de materiales y herramientas de inspección, etc.
- Exceso de confianza respecto a medidas de seguridad Industrial

Por las razones expuestas, se generan gastos adicionales, además de uso extra de tiempo, mismo que puede servir para avanzar con la ejecución del trabajo que se esté realizando.

Con la aplicación de los procedimientos escritos, se ha eliminado la posibilidad de que dichos imprevistos ocurran, reduciendo así, los gastos innecesarios que se producen en la inspección.

#### **7.4.2. Aumento de ganancias**

El precio que Inendec SA. ha ofrecido, revisado anteriormente en este capítulo y en el Capítulo 4, no es factible modificarlo por cuestiones de posicionamiento en el mercado, pero, cuando el cliente que recibe el servicio con un informe más detallado, conciso y claro, obtiene una mayor satisfacción de sus necesidades de información. Al poder manejarla de mejor manera, el cliente en cuestión podría solicitar mayores cantidades de inspección y además puede recomendar el servicio de la empresa a otros constructores e incluso a empresas vinculadas con fiscalización, peritaje, ejecución de soldadura, etc.

De la misma forma, Inendec S.A. puede, en sus cotizaciones, aumentar la oferta de inspección de soldadura, pues al reducir los tiempos unitarios, obtiene mayor tiempo disponible para ejecutar mayores longitudes de inspección.

### 7.4.3. Reducción de tiempos muertos

Al ejecutar la inspección de soldadura estructural con los procedimientos tratados, los tiempos de re inspección por errores internos, se minimizan, agilizando el trabajo, y permitiendo sistematizar la inspección, logrando así cubrir mayor longitud de inspección en un tiempo determinado. Además, al poseer un procedimiento escrito, se posibilita una mayor y mejor planificación que puede coordinar el transporte y movilización de personal, equipo e insumos a verificar, logística y andamiaje, etc. con el responsable de la obra, a fin de optimizar e interferir lo menos posible con otras actividades que se realizan en el sitio de construcción.

### 7.4.4. Beneficio final

A continuación, en la tabla 7.8, se describen gastos por una jornada en trabajos de inspección en períodos de 2 meses, sin y con la aplicación de los procedimientos de inspección, en el último caso, solo se toma en cuenta el período marzo – abril del año 2009, pues solo aquí se ha aplicado los procedimientos logrados en este trabajo.

	c/d	sin	Con	Observaciones
<b>Transporte</b>	20	20	20	Gasolina, transporte aéreo, etc.
<b>Movilización</b>	10	10	10	Pago por tiempo en viaje
<b>Uso de equipos</b>	45	45	40	Insumos, depreciaciones por día, etc.
<b>Alimentación</b>	15	15	15	Alimentación de personal
<b>Imprevistos</b>	...	5	0	Compra de insumos no planificadas
<b>Inspección*</b>	80	85	80	Costo de Inspección por longitud
	total	<b>180</b>	<b>165</b>	
	ahorro		<b>(8,33)</b>	

**Tabla 7.8.** Costos de inspección con y sin aplicación de procedimientos en trabajos comparables prorrateado a una jornada de trabajo.

\*Los costos de *inspección* detallados en la tabla 7.8 son los correspondientes al pago al personal para una jornada de trabajo.

Los costos en la columna “c/d” son los costos estimados diarios en los que la empresa incurre, la columna “sin” revela los costos de trabajos realizados anterior a la aplicación de los procedimientos de inspección, la columna “con” expone los costos que Inendec S.A. realizó para la inspección de trabajos comparables pero con la aplicación de los procedimientos.

Es evidente que hay costos fijos que no son afectados, mientras que costos como los correspondientes a uso de *equipos, Imprevistos, e Inspección* son susceptibles de modificación al optimizar los procesos mediante los respectivos procedimientos.

El beneficio adicional que Inendec S.A. espera recibir en el período de un año es de aproximadamente \$1600, haciendo una proyección de las cifras obtenidas en el ejemplo experimental anterior hacia un promedio de los ingresos en períodos de 2 meses obtenidos por la empresa, en cuanto a reducción de costos de inspección.

En cuanto a aumento de ganancias por mayor volumen de inspección se estimaría un aumento similar o mayor a \$1600. Por el momento, no es posible obtener datos reales que evidencien los resultados requeridos.

Con lo anterior, se espera que el VAN de Inendec S.A. aumente notablemente, aunque la cuantificación de dicho aumento, no es posible determinar puesto que la empresa se encuentra en un periodo de prueba de aplicación de estos procedimientos, por lo que aún no existen datos confiables que puedan proyectarse a futuro con errores manejables.

#### **7.4.5. Otros beneficios**

El uso de procedimientos le permitirá a Inendec S.A. incursionar en el mercado de empresas que exigen la aplicación de las normas de referencia en lo que tiene que ver con inspección, como son las empresas operadoras petroleras, las empresas de servicios petroleros y empresas que tienen que ver con el sector eléctrico, aeronáutico y con el sector metalmecánico, etc.

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **8.1. Conclusiones**

- El sistema de inspección desarrollado, apoya al inspector en la correcta ejecución de los Ensayos No Destructivos aplicables a soldadura de estructura metálica, tomando en cuenta, en su desarrollo, regulaciones establecidas por normas de soldadura como ANSI-AWS D1.1 – D1.5., guiando los pasos a seguir y los datos útiles a recolectar, para así ofrecer de manera óptima un servicio de calidad.
- Los procedimientos planteados en este trabajo permiten al constructor manejar la información producida por las pruebas no destructivas de forma fácil y estandarizada, asegurar la calidad de la soldadura de su estructura metálica, optimizando así sus procesos de producción, reparando apropiadamente las posibles fallas detectadas, y evaluando los puntos críticos en su sistema de producción.
- El estricto cumplimiento de estos procedimientos, y otras regulaciones, permitirán a mediano plazo una certificación de la empresa INENDEC SA. en lo que se refiere a gestión de calidad.
- El estudio de mercado incluido en este trabajo revela que es necesario culturizar al sector de la construcción metalmecánica en cuanto a la necesidad que este tiene, de un mayor control de calidad, en base al cumplimiento de normas regulatorias nacionales e internacionales, centrándose en la inspección de las uniones soldadas.
- El estudio económico de este trabajo revela que INENDEC SA. Puede invertir en equipamiento de END, contratar personal suficiente para cada área, incluso capacitarlo. Además revela que el uso de los procedimientos genera beneficios económicos para la empresa y el cliente.

## 8.2. Recomendaciones

- Es necesario para el funcionamiento de la empresa auspiciante adquirir equipo moderno y contar en su equipo de trabajo con personal Capacitado, Calificado y Certificado y por ende, con experiencia previa en Ensayos No Destructivos, pues de esta manera, se aprovechará mejor el tiempo, y su capacitación será justificada y aprovechada por la empresa.
- INENDEC SA. debería impulsar, con el apoyo de colegios profesionales, cámaras gremiales y otras relaciones publicas, la vigencia y aplicación de (al menos) normas locales, que exijan técnicamente, el uso del servicio de inspección de soldadura en estructura metálica de edificaciones civiles, con lo que se justifica la razón social de dichos reglamentos.
- En el caso de la operación de equipos de Radiografía Industrial es obligatorio que el personal que lo opere, haya aprobado el curso de Protección Radiológica impartido por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica.
- Se recomienda que a futuro, la empresa implemente nuevas técnicas de END como análisis de vibraciones para estructuras dinámicas, y corrientes inducidas, termografía, y ensayo de fugas, orientadas a otros campos diferentes a estructuras metálicas pero concernientes a la ingeniería mecánica.
- Se recomienda que la empresa se califique en el Sistema Nacional de Contratación Pública, y en empresas operadoras petroleras para brindar el servicio de inspección de estructuras.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros y Publicaciones

- AISC, Manual of Steel Construction Allowable Stress Design, New York, 1998.
- ASTM, ASTM D3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Type Test, 1995.
- AWS, Code Clinic for Study of AWS D1.1/D1.1M 2004 Structural Welding Code – Steel, Miami – USA, 2004.
- AWS, AWS D1.1/D1.1M 2004 Structural Welding Code – Steel, USA, Ninetieth Edition, 2003.
- AWS, Code Clinic for Study of AWS D1.5/D1.5M 2004 Structural Welding Code – Steel, Miami – USA, 2004.
- AWS, Welding Inspection Technology Workbook, USA, Third Edition 1999.
- Brockenbrough, Roger – Merritt, Frederick; Manual de Diseño de Estructuras de Acero – Tomo 1, Mc Graw Hill, Colombia 1997.
- Fedimetal, Guía Metalmecánica del Ecuador, Edición 2007.
- Ramírez Francisco – Introducción a métodos de END - Ed 2° - Madrid 1982
- Laboratorio de Soldadura Escuela Politécnica Nacional, Folleto de Prácticas – Tecnología de Soldadura, Ecuador, 2004.
- The Lincoln Electric Company, New Lessons in Arc Welding, Third Edition, USA 1982.
- Viteri Pablo – Procedimientos tipo de END para inspección técnica de accesorios de fundición – Proyecto de titulación – EPN – Quito, 1997
- Miniguano Gissela – “Financiamiento y Comercialización de las Empresas Comunitarias en el Ecuador, caso de la Microempresa Dulcinea, del cantón Tisaleo –Tungurahua” – Tesis de Grado – UCE – Quito, 2005
- Villacrés, Miguel - Folleto de Principios y Control de Soldadura – Ecuador 2008.

## Páginas Web

- [www.inec.gov.ec](http://www.inec.gov.ec)
- [www.aendur.com.uy](http://www.aendur.com.uy)
- [www.sieend.com.mx](http://www.sieend.com.mx)
- [www.grupoendycc.com](http://www.grupoendycc.com)
- [www.supercias.gov.ec](http://www.supercias.gov.ec)
- [www.indura.com.cl](http://www.indura.com.cl)
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [www.fedimetal.com](http://www.fedimetal.com)
- [www.bce.fin.ec](http://www.bce.fin.ec)
- [www.compraspublicas.gov.ec](http://www.compraspublicas.gov.ec)