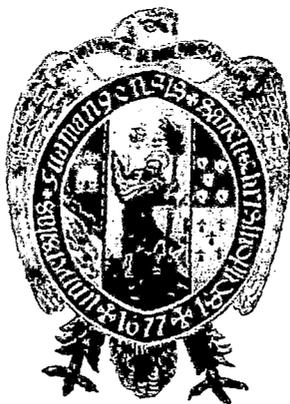


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**“IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN  
NO DESTRUCTIVA DE SOLDADURA EN TUBERIAS Y ESTRUCTURAS EN  
EL PROYECTO LAS BAMBAS”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JUSTIDIANO CARRASCO SÁNCHEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**ASESOR: Ing° BERNARDO ENCISO LÓPEZ**

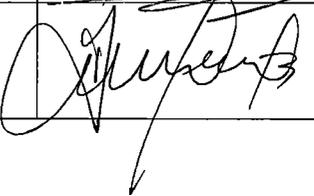
**AYACUCHO – PERU**

**2014**

Tesis  
Q473  
Car

### ACTA DE CONFORMIDAD

Los suscritos Docentes miembros de Jurado Evaluador de Sustentación de tesis cuyo título es **“IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE SOLDADURA EN TUBERIAS Y ESTRUCTURAS EN EL PROYECTO LAS BAMBAS”**, presentado por el bachiller en Ingeniería Química Justidiano Carrasco Sánchez, designados en mérito a la Resolución Decanal N°034-2014-FIQM-D, luego de revisar la subsanación de las observaciones formuladas en el acto Público de Sustentación efectuado el 21 de julio del 2014; damos nuestra conformidad final para que el recurrente publique su trabajo de tesis en mérito al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, para que el recurrente prosiga con sus tramites conducentes a la expedición de su diploma de Ingeniero Químico.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO	28227716	
M.Cs. Alfredo ARIAS JARA	28259736	
Ing° Juan Carlos BARNETT AGUILAR	20287779	

Ayacucho, julio del 2014

Dedico esta tesis a:

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. A mi madre Teodora, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mi padre Procopio, quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis queridos hermanos Maribel, Soledad, Graciela, Luis por su motivación permanente y compartir los triunfos y los momentos difíciles. A mis amigos Piero, Alan y María por su amistad y ser parte del equipo que formamos para llegar hasta el final del camino universitario. A todos mis maestros de la E.F.P de Ingeniería Química de la UNSCH, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional. A Zoraida y Juan por su calidad humana e incondicional apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas deseo expresar mi agradecimiento a todos aquellos seres que de una u otra forma me han impulsado a realizar esta tesis, brindándome su continuo apoyo y confianza.

En primer lugar, mi profundo agradecimiento y reconocimiento al Ing. Bernardo Enciso López, mi Asesor de Tesis y orientador durante todo el camino recorrido. Destaco su dedicación, interés, motivación, confianza, y especialmente su calidad académica y humana que lo convierten en un excelente referente.

Asimismo, mi sincero agradecimiento y reconocimiento al Ing. Alfredo Tenorio Molina, quien me impulsó y orientó a tomar la decisión de seguir y hacer mis estudios en la rama de los Ensayos No Destructivos. Su valioso apoyo y confianza han sido fundamentales para que siguiera adelante en la concreción de este objetivo.

A Ninfa Velayarse Hidalgo, madrina, amiga y consejera. Ella ha sido quien me ha motivado a interesarme por la lectura y me ha orientado a aprender de sus valiosos conocimientos y compartir sus experiencias.

Mi agradecimiento a Reyna Llanos, amiga y guía, quien con sus atenciones me motivó y apoyó en todo momento.

Por otro lado, agradezco a mi Equipo de trabajo del Frente NDT- Proyecto Las Bambas, de Bureau Veritas del Perú S.A. Agradezco especialmente el haberme brindado la posibilidad de aprender y crecer profesionalmente.

Y mi profundo afecto a mis padres Procopio y Teodora, a ellos les debo todo lo que soy. A Maribel, Soledad, Graciela, Luis Antonio y Sócrates, mis hermanos y primo, quienes me sostienen en el día a día, me motivan, me apoyan y confían en mí. Sin ellos a mi lado no hubiera podido concluir este camino.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1 Importancia y justificación.....	1
1.1.1 Importancia.....	1
1.1.2 Justificación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.2.1 Identificación del problema.....	2
1.2.2 Descripción del problema.....	2
1.2.3 Delimitación del problema.....	2
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
1.4.2 Hipótesis específico.....	4
1.2 Variables.....	4
1.5.1 Variable independiente.....	4
1.5.2 Variables dependientes.....	4
1.6 Descripción del proyecto las bambas.....	5
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.1.1 A nivel internacional.....	9
2.1.2 A nivel nacional.....	11
2.1.3 A nivel local.....	11
2.2 Base legal y normatividad.....	11
2.3 Fundamentación conceptual.....	13
2.3.1 Soldadura.....	13
2.3.2 Defectos de las uniones soldadas.....	16
2.3.3 Ensayos no destructivos.....	23
CAPITULO III	
IMPLEMENTACIÓN.....	37
3.1 Ejecutores del proyecto.....	37
3.1.1 Ubicación de instalaciones.....	38
3.2 Distribución de ambientes.....	39
3.3 Implementación de equipos.....	42

3.4 Implementación de laboratorio.....	43
3.4.1 Dimensiones, temperatura, humedad y accesorios.....	43
3.5 Implementación de plan de aseguramiento de la calidad.....	46
3.5.1 Objetivos de calidad.....	46
3.5.2 Alcances.....	46
3.5.3 Estructura organizativa.....	48
3.5.4 Responsabilidades frente a la calidad del proyecto.....	48
3.5.5 Sistema de control.....	50
3.5.6 Control de documentos.....	50
3.5.7 Emisión de informes.....	50
3.5.8 Solicitud de un servicio de ensayo y/o pruebas.....	51
3.5.9 Adquisiciones.....	51
3.5.10 Identificación y trazabilidad del servicio.....	52
3.5.11 Control de los servicios.....	52
3.5.12 Control del equipo de inspección, medición y ensayo.....	52
3.6 Implementación de procedimientos de trabajo.....	53
3.6.1 Procedimiento de radiografía.....	53
3.6.2 Procedimiento de líquido penetrante.....	70
3.6.3 Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de partícula magnética para ASME sección V (Sólo Yugo).....	78
3.6.4 Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de ultrasonido tipo pulso eco.....	89
3.7 Implementación de medidas de seguridad y gestión ambiental.....	97
3.7.1. Seguridad y salud ocupacional.....	97
3.7.2. Seguridad radiológica.....	98
3.7.3. Gestión ambiental.....	103
3.8 Programa de trabajo.....	106
3.8.1. Plan de inspección.....	106
3.8.2. Programación de trabajos.....	107
 CAPITULO IV	
TRABAJO EXPERIMENTAL.....	108
4.1. Inspección por radiografía industrial (RT).....	108
4.2. Inspección por tintes penetrantes (PT).....	122
4.3. Inspección por ultrasonido pulso eco (UT).....	127
4.4. Inspección por partículas magnéticas (MT).....	131
 CAPÍTULO V	
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	135
CONCLUSIONES.....	144
RECOMENDACIONES.....	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146
ANEXOS.....	149

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 3.1. Principales equipos usados en ensayos no destructivos
- Tabla 3.2. Selección del indicador de calidad
- Tabla 3.3. Designación del IQI tipo alambre
- Tabla 3.4. Penumbra geométrica.
- Tabla 3.5. Familias de líquidos penetrantes
- Tabla 3.6. Tiempos de permanencia mínimos
- Tabla 3.7. Matriz de evaluación de peligros y control de riesgos
- Tabla 3.8. Plan de inspección de ensayos no destructivos
- Tabla 3.9. Programa de trabajo
- Tabla 4.1. Factores de película radiográfica
- Tabla 4.2. Tamaño de película requerida por diferentes diámetros de tubería
- Tabla 5.1. Ensayos no destructivos ejecutados en el proyecto Las Bambas
- Tabla 5.2. Evaluación de la cantidad de ensayos desarrollados
- Tabla 5.3. Condición de aceptación y rechazo de las inspecciones por ensayos no destructivos
- Tabla 5.4. Indicaciones de las inspecciones por ensayos no destructivos
- Tabla 5.5. Causas y soluciones a indicaciones presentadas en soldadura
- Tabla 5.6. Consumos de películas radiográficas – Ensayo radiografía industrial
- Tabla 5.7. Consumos de químicos para procesado de películas radiográficas

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Ubicación del proyecto Las Bambas
- Figura 2.1. Soldadura de tubería de acero por el proceso SMAW
- Figura 2.2. Partes de un cordón de soldadura
- Figura 2.3. Soldadura por arco con electrodo revestido
- Figura 2.4. Fisuras en el cordón de soldadura
- Figura 2.5. Inclusiones gaseosas
- Figura 2.6. Porosidades
- Figura 2.7. Escorias en el cordón de soldadura
- Figura 2.8. Falta de fusión y penetración
- Figura 2.9. Diversos defectos producidos en la soldadura
- Figura 2.10. Herramientas de inspección visual
- Figura 2.11. Proceso general de aplicación de líquidos penetrantes
- Figura 2.12. La prueba de líquidos penetrantes
- Figura 2.13. Proceso de prueba de partículas magnéticas
- Figura 2.14. Prueba de partículas magnéticas
- Figura 2.15. Proceso de ultrasonido
- Figura 2.16. Inspección de tubería por ultrasonido
- Figura 2.17. Proceso aplicación de radiografía
- Figura 2.18. Inspección radiográfica
- Figura 3.1. Ubicación de las instalaciones para ensayos no destructivos
- Figura 3.2. Layout de distribución de ambientes
- Figura 3.3. Montaje y construcción de instalaciones
- Figura 3.4. Instalaciones de trabajo y bunker para almacenamiento de fuente gammagráfica
- Figura 3.5. Zonas de laboratorio de revelado – cuarto oscuro
- Figura 3.6. Luz de seguridad de emisión roja
- Figura 3.7. Termómetro, higrómetro digital
- Figura 3.8. Exposición de pared simple– Simple imagen (En planchas)
- Figura 3.9. Exposición de pared simple– simple imagen. (En tuberías, Panorámica)
- Figura 3.10. Exposición de pared doble – simple imagen (DW/SI)

- Figura 3.11. Exposición pared doble – simple imagen (DW/SI)
- Figura 3.12. Exposición Pared doble – doble imagen (DW/DI) (Proyectada elíptica)
- Figura 3.13. Exposición Pared doble – doble imagen (DW/DI) (Imagen Superpuesta)
- Figura 3.14. Exposición gammagráfica (toma de placas radiográficas) con fuente de Iridio
- Figura 4.1. Principales equipos de seguridad usados en ensayos de radiografía
- Figura 4.2. Película radiográfica
- Figura 4.3. Identificación del elemento a inspeccionar
- Figura 4.4. Armado de plantilla con identificación requerida
- Figura 4.5. Proceso de toma radiográfica
- Figura 4.6. Procesamiento de película radiográfica expuesta
- Figura 4.7. Interpretación radiográfica
- Figura 4.8. Proceso de inspección por tintes penetrantes
- Figura 4.9. Calibración de equipo
- Figura 4.10. Marcado de área de inspección
- Figura 4.11. Procesos de inspección por ultrasonido pulso eco
- Figura 4.12. Limpieza de la superficie del elemento a inspeccionar
- Figura 4.13. Magnetización del cordón de soldadura
- Figura 4.14. Aplicación de partículas magnéticas/ interpretación
- Figura 5.1. Ordenes de trabajo atendido
- Figura 5.2. Ensayos no destructivos desarrollados en el proyecto Las Bambas
- Figura 5.3. Tendencia de desarrollo ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas
- Figura 5.4. Resultados de las inspecciones por ensayos no destructivos
- Figura 5.5. Indicaciones encontradas en las inspecciones por ensayos no destructivos
- Figura 5.6. Consumo de películas radiográficas

## LISTA DE ABREVIATURAS

END / NDE	Ensayos no destructivos / Nondestructive Evaluation
RT	Radiografía industrial
PT	Tintes penetrantes
MT	Partículas magnéticas
UT	Ultrasonido
ASME	American Society of Mechanical Engineers
API	American Petroleum Institute
AWS	American Welding Society
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASNT	American Society for Nondestructive Testing
NFPA	National Fire Protection Association
ISO	International Organization for Standardization
CSA	Canadian Standard Association
SMAW	Shielding Metal Arc Welding
IQI	Image Quality Indicators
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
AC	Corriente alterna
CD	Corriente directa

# **“IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE SOLDADURA EN TUBERIAS Y ESTRUCTURAS EN EL PROYECTO LAS BAMBAS”**

## **RESUMEN**

El trabajo de investigación expuesto en esta tesis ha sido elaborado en el proyecto Las Bambas, afín de establecer los lineamientos de calidad del proceso de construcción, enmarcado en el proceso de soldadura de tuberías y estructuras.

El programa se fundamenta en la aplicación de ensayos no destructivos bajo las técnicas de radiografía industrial, tintes penetrantes, ultrasonido y partículas magnéticas, basados en un plan de calidad y procedimientos escritos, afín de asegurar la correcta ejecución de estos ensayos operacionales acordes a estándares y normativas aplicables.

Se han realizado una serie de inspecciones por las técnicas de ensayos planteados, siguiendo lo establecido en los procedimientos operacionales. Tales estudios han permitido evidenciar la importancia de los ensayos no destructivos, ya que gracias a ellos se han detectado las imperfecciones en las soldaduras. El resultado ha permitido al ente constructor a evaluar sus puntos críticos y a la toma de decisiones a fin de asegurar la calidad de la construcción del proyecto Las Bambas.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada **“IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE SOLDADURA EN TUBERIAS Y ESTRUCTURAS EN EL PROYECTO LAS BAMBAS”** se presentó con el objetivo fundamental de lograr el título profesional de Ingeniero Químico, como resultado de los conocimientos adquiridos durante mi formación profesional y especialización en la rama de los ensayos no destructivos, que garantizará mi aporte en la labor ingenieril encaminados al control de calidad.

Cada etapa del proceso de construcción requiere del control de calidad y una de las formas es por la aplicación de los ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos (END), son técnicas que se caracterizan por utilizar métodos físicos indirectos para la inspección de partes, piezas o componentes en proceso o en servicio, para detectar discontinuidades defectos que puedan afectar su calidad y utilidad. El objetivo de los ensayos no destructivos, es detectar las discontinuidades superficiales e internas con respecto a su carácter, tamaño y ubicación.

El propósito de esta tesis es mostrar las distintas técnicas de ensayos no destructivos que son de uso general en el rubro de la construcción, indicando los principios básicos de cada técnica así como la aplicación del mismo. Se basarán en un plan de calidad y procedimientos que deberán ser cumplidos para su fiabilidad.

Se espera que la información recibida de esta tesis, contribuya al lector para iniciarse en el estudio de los ensayos no destructivos y continuar con el aprendizaje de otras técnicas.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. Importancia y justificación

#### 1.1.1. Importancia.

El presente trabajo de investigación permitirá identificar las fallas en el proceso de soldadura de la red de tuberías y estructuras del proyecto Las Bambas. El reconocimiento de las discontinuidades (indicaciones) a través de los ensayos no destructivos permitirá una caracterización y posterior evaluación teniendo en cuenta el tamaño, la forma, orientación y localización.

La evaluación según normas concluirá en la aceptación o rechazo del elemento inspeccionado, lo que obligará al ente constructor la reparación y/o toma de otras decisiones.

Asimismo, con la presente tesis se darán los lineamientos de calidad para la inspección por medio de ensayos no destructivos.

#### 1.1.2. Justificación.

##### *Justificación técnica.*

En la actualidad en el ámbito de metal mecánica se exige la inspección y seguimiento de las uniones de soldadura para asegurar la calidad y el cumplimiento con los criterios de aceptación de acuerdo a la norma de construcción.

##### *Justificación económica.*

La aplicación de los ensayos no destructivos permitirá asegurar y certificar que la construcción de las estructuras, tuberías y otros

componentes dentro del proyecto se realicen de manera correcta, de ese modo prevenir futuros accidentes en el proceso operativo, que pueden ocasionar pérdidas económicas.

### ***Justificación social.***

La aplicación de la inspección por medio de los ensayos no destructivos permitirá asegurar que los componentes estructurales y tuberías no tengan problema alguno durante el periodo de operación de la planta, o cual permitirá garantizar una labor efectiva en beneficio de las comunidades aledañas con mínimo impacto ambiental.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Identificación del problema.**

Durante la soldadura de las tuberías se generan discontinuidades como: fisuras, porosidades, socavaciones, falta de penetración, falta de fusión, inclusión de escorias, entre otros, los cuales deben ser identificados mediante ensayos no destructivos y evaluados de acuerdo a estándares normalizados.

### **1.2.2. Descripción del problema.**

¿La aplicación de los ensayos no destructivos que permiten identificar, defectos en la soldadura de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas permitirá evitar fallas y accidentes en el proceso de producción?

### **1.2.3. Delimitación del problema.**

El proyecto de acuerdo a sus necesidades y requerimientos está dentro de los campos de soldadura y los ensayos no destructivos.

#### **1.2.4. Formulación del problema.**

##### ***Problema principal.***

¿La implementación y monitoreo de un sistema de inspección no destructiva de soldadura en tuberías y estructuras permitirá prevenir fallas y accidentes durante el funcionamiento del proyecto Las Bambas?

##### ***Problema específico.***

1. ¿Qué tipo de ensayo serán aplicados en los puntos críticos de la estructura?
2. ¿Cómo se determina los factores de falla en los puntos críticos de la estructura?
3. ¿Existirán estudios de ensayos no destructivos actuales realizados en el proyecto Las Bambas?

#### **1.3. Objetivos**

##### **1.3.1. Objetivo general.**

Implementar y monitorear un sistema de inspección no destructiva de soldadura en la red de tuberías y estructuras del proyecto Las Bambas, con la finalidad de detectar defectos, cumplir con el aseguramiento de calidad y las normas estándares de construcción.

##### **1.3.2 Objetivos específicos.**

1. Identificar fallas en el proceso de soldadura.
2. Identificar puntos críticos para realizar ensayos no destructivos.
3. Realizar pruebas de diagnóstico mediante ensayos no destructivos
4. Implementar una guía de procesos de control de calidad.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general.**

La implementación y monitoreo de un sistema de inspección no destructiva de soldadura en la red de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas permitirá incrementar la calidad de las instalaciones.

### **1.4.2. Hipótesis específico.**

1. La inspección por medio de ensayos no destructivos identificará los defectos en el proceso de soldadura de la red de tuberías.
2. La construcción de las estructuras y componentes del proyecto Las Bambas será asegurada y certificada mediante la inspección por métodos de ensayos no destructivos.
3. Las maquinarias que realizan servicios en el proyecto Las Bambas aseguraran que los componentes más críticos no sufran daños repentinos, mediante la valuación por ensayos no destructivos.

## **1.5. Variables**

### **1.5.1. Variable independiente.**

- Ensayos no destructivos en red de tuberías y estructuras

#### ***Indicadores.***

- Poros, socavaciones, falta de penetración, entre otros.

### **1.5.2. Variables dependientes.**

- Calidad de instalaciones producidas para el proyecto.

### *Indicadores.*

- Indicaciones dentro del margen permitido por las normas de construcción.

## **1.6. Descripción del proyecto Las Bambas**

El Proyecto comprende instalaciones que se ubicarán en tres áreas distintas [1]:

- Área Las Bambas (consistente en la mina, la planta concentradora e instalaciones auxiliares).
- Área del Mineroducto (donde se ubicará el mineroducto, el acceso de servicio y la línea de alta tensión para las estaciones de bombeo).
- Área de Tintaya (donde se ubicarán las plantas de molibdeno, filtro y el área de almacenamiento de concentrados).

El área Las Bambas se ubica entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui en la provincia de Cotabambas y el distrito del Progreso en la provincia de Grau, en el departamento de Apurímac. El área del Mineroducto atraviesa en su recorrido los distritos de Challhuahuacho y Haqira pertenecientes a la provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac; y los distritos de Colquemarca Chamaca y Velille en la provincia de Chumbivilcas, así como también los distritos de Coporaque y Espinar en la provincia de Espinar, estas dos últimas provincias pertenecen al departamento de Cusco. Las plantas de molibdeno y filtros y el almacén de concentrados se ubican en el área de Tintaya, distrito y provincia de Espinar, departamento de Cusco, dentro de la propiedad de Xstrata Tintaya S.A. (figura 1.1).

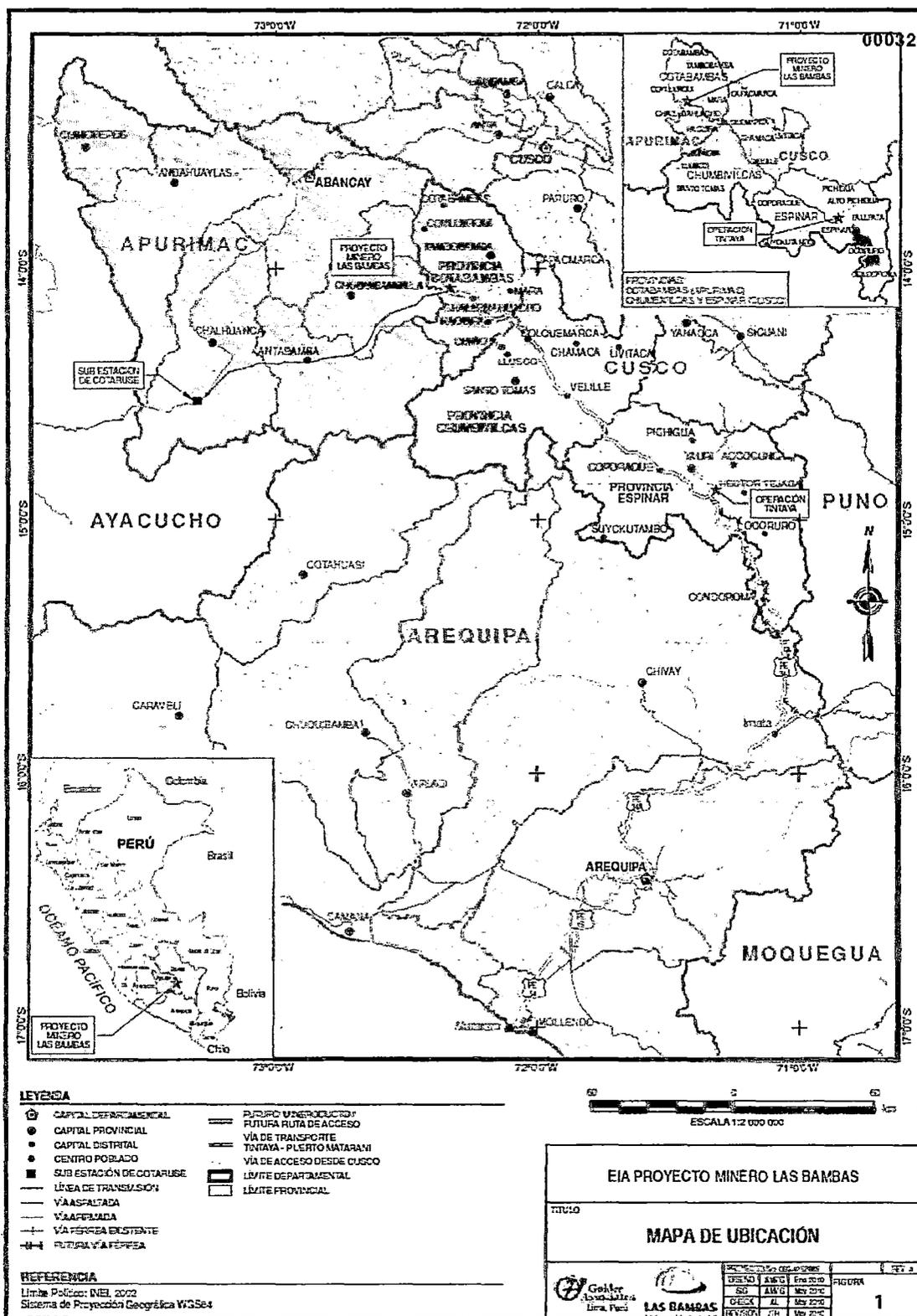


Figura 1.1 Ubicación del Proyecto Las Bambas

Fuente: Golder Associates Perú S.A. (2010). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Las Bambas. Xstrata Tintaya S.A, Mayo, 2010.

El área Las Bambas se ubica en los andes de la zona centro-sur del Perú, aproximadamente 75 km al sur-suroeste de la ciudad de Cusco. El área Las Bambas estará conectada mediante el área del Mineroducto la cual constituye un corredor de 206 km de longitud con el área Tintaya que se ubica aproximadamente 300 km al noroeste de la ciudad de Arequipa.

Las elevaciones en el área Las Bambas oscilan entre 3 800 y 4 600 metros sobre el nivel del mar (msnm). Existen dos rutas para acceder a la zona, una es por vía aérea desde Lima a Cusco y luego por carretera asfaltada de Cusco a Anta y por carretera afirmada la ruta Anta-Cotabambas-Tambobamba Challhuahuacho. La distancia aproximada desde la ciudad del Cusco hasta el Proyecto es de 289 Km y el tiempo de recorrido en camioneta se estima en 8 horas. Otra vía para acceder a la zona es íntegramente por tierra usando la carretera asfaltada Lima-Nasca-Puquio-Abancay, debiéndose tomar un desvío de carretera afirmada antes de Abancay, para llegar a la provincia de Cotabambas.

El proyecto extraerá mineral de tres depósitos de cobre (con valores de molibdeno y oro): Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. El mineral será chancado, molido y tratado por flotación en una planta concentradora en el área Las Bambas, luego trasladado hacia la Planta de Molibdeno en el área de Tintaya, para producir concentrados de cobre y de molibdeno que serán transportados por tren (en el caso del cobre) y camiones (en el caso del molibdeno) hasta el puerto de Matarani.

Las reservas de mineral se estiman en aproximadamente 877 Mt con una ley promedio de cobre de 0,72% y de molibdeno de 169 ppm. El proyecto empleará en promedio 3 800 personas durante la etapa de construcción, llegando a alcanzar un máximo de 6 500 personas durante el pico de la construcción. Durante la etapa

de operación se emplearán aproximadamente 1 350 personas. La etapa de construcción del proyecto se llevará a cabo entre los años 2011 y 2014, la operación será desde el año 2014 hasta el año 2031 (18 años) y el cierre final será a partir del año 2031.

Los productos finales, concentrados de cobre y molibdeno, se obtendrán a través del procesamiento del mineral por medio de una nueva planta concentradora diseñada bajo el concepto concentrador estándar de Xstrata Copper y una nueva planta de molibdeno. El mineral se procesará a través de una secuencia de chancado primario convencional, molienda, flotación, remolienda, espesamiento para su transporte a través del mineroducto. No hay instalaciones industriales existentes en o cerca del área Las Bambas que puedan utilizarse para facilitar el desarrollo del proyecto, por lo cual considera construir todas las instalaciones de soporte necesarias.

El concentrado que llegará al área de Tintaya será sometido a un proceso de flotación para la separación de concentrados de cobre y molibdeno, los cuales serán espesados y filtrados para su transporte por tren y camión respectivamente.

La descarga de los concentrados de cobre y molibdeno se realizará en el puerto de Matarani en las nuevas instalaciones en la Bahía de Islay a ser desarrolladas por TISUR para almacenamiento, recuperación y carga en las embarcaciones. El puerto está ubicado en la Bahía de Islay, a unos 120 km al oeste de la ciudad de Arequipa y 1 070 km al sur de la ciudad de Lima.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Los ensayos no destructivos y la soldadura, ha sido objeto de estudio en diversas publicaciones y trabajos de investigación realizados en el Perú y en diversos países como se puede observar a continuación.

##### 2.1.1. A nivel internacional.

*García G., Ubaldo I. “Comparación entre los diferentes sistemas de ensayo no destructivos en el estudio de defectos de la soldadura”, 1966/G165 DF-UCVFI-EMCM [2].* Presenta las principales normas de construcción de soldaduras como consecuencia del perfeccionamiento de mecanismos de construcción y la exigencia del cumplimiento de estándares de calidad en la industria mundial. Indica que la industria ha podido comprobar que con un control más severo, el número de defectos en los mecanismos como las piezas a producir ha disminuido. Manifiesta que un medio con el cual la industria se ha valido para controlar, identificar y diagnosticar defectos en piezas, ha sido mediante el empleo de ensayos no destructivos.

*Secretaría de comunicaciones y transportes instituto mexicano del transporte. “La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes”. Publicación técnica No. 231, Sanfandila, Qro, 2003 [3].* Se presenta una síntesis de las técnicas de evaluación no destructiva más empleadas en la industria y en el sector transporte. En cada caso, se analizan las diversas variantes de las técnicas, destacando sus ventajas y

desventajas, y se analiza su uso en un amplio contexto que incluye el diseño y los diferentes escenarios de falla que pudieran presentarse.

Se discuten en forma general las diversas maneras de clasificar las técnicas de inspección no destructiva y se abordan en forma detallada las de inspección superficial, las de inspección volumétrica y algunas especiales para la inspección de puentes.

Respecto a las superficiales, se incluyen los principios básicos de la inspección visual, las técnicas por corrientes parásitas y las de partículas magnéticas. En cuanto a las volumétricas, se analizan el ultrasonido, los rayos X y las emisiones acústicas. Finalmente, para casos específicos se consideran el radar de penetración, los sensores magneto-resistivos, los sensores de corrosión y las antenas electromagnéticas.

*Daniel Perera Gerónimo. "Manual de introducción al ultrasonido industrial", servicios marinos y terrestres S.A. de C.V [4].* Es un manual de procedimientos que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de los ensayos no destructivos, con énfasis en el método de inspección ultrasónica, explica claramente cómo se realiza una inspección y en base a que normativa se llevara a cabo así como los lineamientos a seguir una vez que se obtengan los resultados y como evaluarlos para obtener así un dictamen del elemento inspeccionado.

### **2.1.2. A nivel nacional.**

*Harry Ernesto Murray García. “Tesis, controles de calidad en la fabricación de un rodete de pelton”. UNMSM – Lima, 2005 [5].* La monografía técnica trata sobre los controles de calidad que se deben seguir durante la fabricación de un rodete de pelton para la central hidroeléctrica Huayunga, localizada en la provincia de Cajabamba en el departamento de Cajamarca a 3082 msnm.

### **2.1.3. A nivel local.**

En la región no se han efectuado trabajos referidos al tema.

## **2.2. Base legal y normatividad**

En el Perú los códigos y estándares de mayor utilización en el diseño y soldadura de tuberías son los emitidos por ASME, API y AWS. Los dos primeros para tuberías sometidas a presión y el último para tuberías estructurales no sometidas a presión. Estas normas mencionadas son hasta ahora las de mayor aceptación no solo en el país, sino además en el resto del mundo, especialmente en la industria petroquímica, de hidrocarburos y gases. Existen una serie de otras normas de uso emitidas por entidades como la National Fire Protection Association (NFPA), International Organization for Standardization (ISO), Canadian Standard Association (CSA), British Standards Association (BS), Deutsches Institut fuer Normung (DIN), Japanese Industrial Standard (JIS), French Standard (NF) entre otras.

Los estándares más usados en el país para el campo de estudio de la presente tesis son los siguientes:

- ASME Boiler and vessel pressure code

- ASME B 31 Code for pressure piping.
- API 1104 Welding of pipelines and related facilities.
- AWS Normas, códigos y estándares varios para soldaduras estructurales y prácticas recomendadas para tuberías a presión.
- Los inspectores son calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) según los requisitos de la práctica recomendada SNT-TC-1A, CP-189
- ASTM A370-03 Test methods and definitions for mechanical testing of steel products.
- ASTM E165 Standard test method for liquid penetrant examination.
- ASME V-B31 Código para tuberías a presión
- ASTM E1417 Standard practice for liquid penetrant examination.
- ASTM E114-95R03 Practice for ultrasonic pulse-echo straight-beam examination by the contact method.
- ASTM 1065-99R03 Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units.
- E94-04 Guide for Radiographic examination.
- ASTM E18-03 Standar test methods for rocwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials.
- ASTM E92-82 Test methods for vickers hardness of metallic materials.
- ASTM E8-01 Standar test methods for tension testing for metallic materials.
- ASTM E9-89a Test methods of compression testing of metallic materials at room temperature.

## 2.3. Fundamentación conceptual

### 2.3.1. Soldadura.

Se denomina soldadura al proceso en el cual se realiza la unión de dos materiales, usualmente obtenido a través de fusión, en la cual los elementos son soldados derritiendo ambos y agregando un material de relleno derretido (metal). Éste, al enfriarse, se convierte en un empalme fuerte.

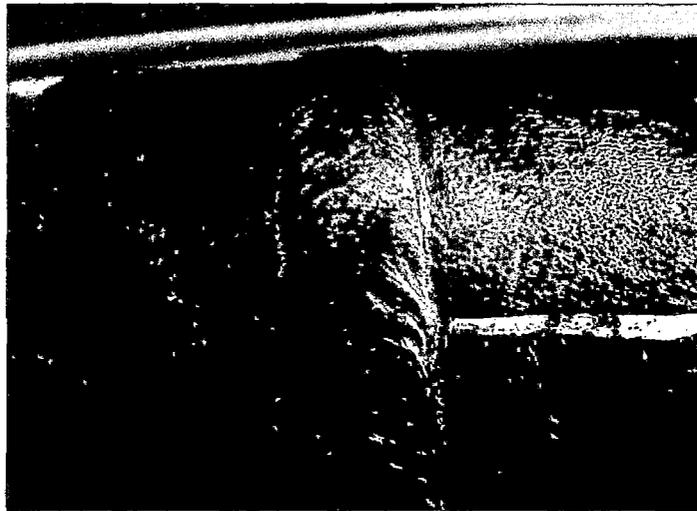


Figura 2.1. Soldadura de tubería de acero por el proceso SMAW

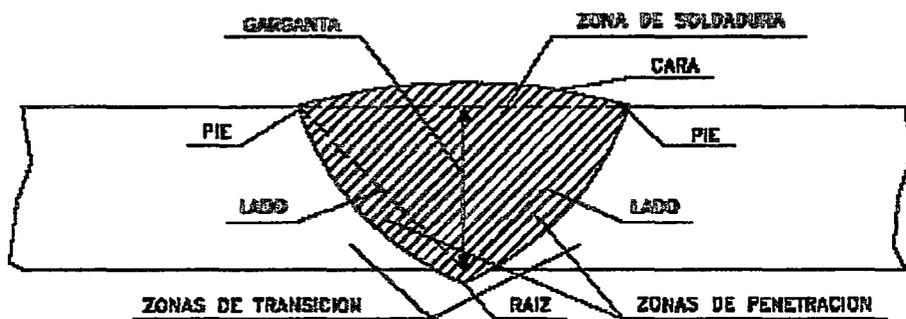


Figura 2.2. Partes de un cordón de soldadura

Fuente: Boletín de curso: Inspección en soldadura / Tec. Mec. Miguel Eyheralde.

**a) Soldadura de tuberías.**

Podemos definir las soldaduras de tuberías [6] como los métodos empleados para lograr la unión de piezas individuales de tuberías con la finalidad de lograr una sección continua con la finalidad de que esta sección así lograda, cumpla las funciones contempladas en su diseño. Esta sección puede contener solo tuberías, accesorios y tuberías, e inclusive equipos

**b) Procesos de soldadura usados en la suelta de tubería.**

En teoría todos los procesos de soldadura se pueden aplicar para la unión de tuberías metálicas. Pero algunas características particulares a cada proceso, pueden limitar su uso a ciertas áreas controladas. Dentro de estas particularidades se pueden mencionar el tamaño y peso; la necesidad de ambientes controlados; la sensibilidad y complejidad de sus componentes; su maniobrabilidad, entre otras características. Más aun, las condiciones de trabajo impuestas durante el montaje de tuberías, en las diversas aplicaciones industriales que tienen estas, exigen que los procesos de soldadura a ser utilizados sean livianos, versátiles, maniobrables y que trabajen con una variedad de fuentes de energía o sean inclusive auto-energizados.

Es debido a estas particularidades que para la soldadura de montaje de tuberías se prefiera utilizar los siguientes procesos, sea este manual, mecanizada o automatizada:

- Soldadura con electrodos revestidos (SMAW).
- Soldadura con electrodo de núcleo fundente (FCAW).

- Soldadura con electrodo protegido por gas (GMAW).
- Soldadura con electrodo de tungsteno (GTAW).
- Brazing con antorcha (TB).

De estos procesos mencionados es de nuestro interés la Soldadura con Electrodo Revestido (SMAW), debido a que es el proceso utilizado en el proyecto Las Bambas. En consecuencia vamos a resaltar los aspectos fundamentales de este proceso.

**c) Soldadura con Electrodo Revestido.**

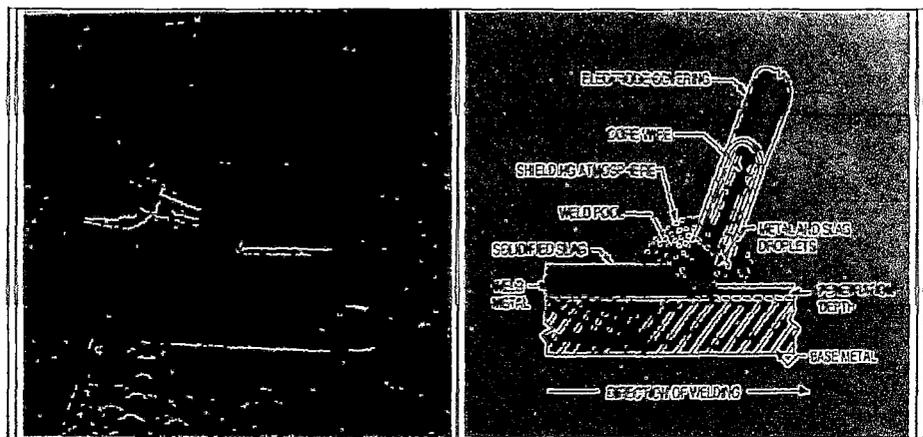
Reconocida por sus siglas en Ingles SMAW (Shielding Metal Arc Welding) [6] es el proceso de mayor uso y el más conocido en nuestro medio. En este proceso de soldadura, la coalescencia del metal se produce por el calor generado por un arco eléctrico, establecido entre el extremo del electrodo y la pieza.

El electrodo revestido constituye el metal de aporte de la soldadura y está formado por una parte central metálico conductor de la corriente eléctrica, llamada “alma”, recubierta por una capa no conductora de la corriente, llamada “revestimiento”. La función principal del revestimiento es la de proteger el metal fundido del aire que lo rodea, ya sea, tanto durante la transferencia a través del arco, como durante la solidificación.

La figura 2.3 muestra un circuito básico de un proceso SMAW, que está constituido por una fuente de poder cuya característica es de Corriente Constante, la cual puede ser de corriente continua o alternada, completando el circuito, la fuente lleva conectadas a sus bornes, una

pinza porta-electrodo y una pinza de maza, que a su vez, va conectada a la pieza a soldar.

Los equipos para el proceso SMAW pueden usar como fuente de energía: a) la electricidad y; b) cuando el equipo incorpora su propio generador, GLP, GN, diesel o gasolina. El SMAW es un proceso que por equipo se puede llevar a cualquier lado y se puede soldar en cualquier posición.



**Figura 2.3. Soldadura por arco con electrodo revestido**

Fuente: AWS, tecnología de inspección de soldadura, módulo 3 – Procesos de unión y corte de metales.

Su mayor campo de aplicación se encuentra en la soldadura de tuberías, de transporte y distribución que se tienden a campo traviesa o en calles y avenidas, sean estas para hidrocarburos (líquidos o gaseosos), agua u otros compuestos. Estas tuberías son en su gran mayoría de aceros al carbono, de baja aleación y mediana aleación.

### 2.3.2. Defectos de las uniones soldadas.

En ensayos no destructivos escucharemos hablar de “defectos” y/o “discontinuidades”. Cualquier indicación encontrada es llamada “discontinuidad ” hasta que se pueda identificar y evaluar el efecto que

puede tener sobre la pieza en servicio. Si, de acuerdo a esto, la "discontinuidad" es inaceptable con arreglo a un criterio de especificaciones, será un "defecto", ahora, si esa discontinuidad no afecta el rendimiento de la pieza en el servicio al que se destina, se deberá llamar simplemente "discontinuidad".

Por discontinuidad se entiende cualquier interrupción, la cual puede ser intencional o no intencional en la estructura física o configuración de una parte [7]. Estas se pueden clasificar en tres categorías:

- **Inherentes:** Introducidas durante la producción inicial del estado de fundición tales como arena, etc.
- **De proceso:** Causadas por procesos posteriores al estado de fundición, incluyendo la fabricación.
- **De servicio:** Surgen debido al uso del producto final por condiciones de carga y/o ambientales.

Un defecto es una discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no cumplen con los criterios de aceptación especificados [7].

Los defectos que pueden presentarse en las uniones soldadas dependen y obedecen a diversas causas y factores. Podemos citar, en nuestro caso, los siguientes: proyecto y diseño no adecuado; influencia del procedimiento seguido y uso de parámetros incorrectos; clase y calidad de los materiales (metal base y electrodos); influencia del medio ambiente y, muy importante, errores humanos (preparación y pericia del operador). No debe olvidarse el orden metalúrgico, ya que los ciclos térmicos del proceso de soldadura ofrecen zonas de transición en sus propiedades físicometalúrgicas que, en

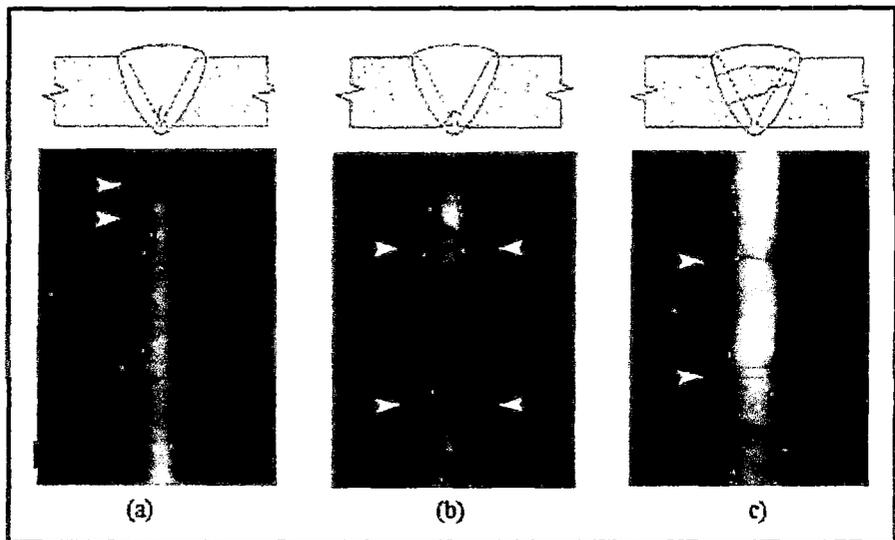
ocasiones, conducen a configuraciones heterogéneas influyentes en el método de ensayo aplicado.

Los defectos [7] que pueden presentarse responden a seis grupos principales:

1. Fisuras y grietas;
2. Inclusiones gaseosas: Cavidades y poros;
3. Inclusiones sólidas;
4. Falta de fusión y penetración;
5. Defectos de forma externos;
6. Defectos varios no incluidos en los grupos anteriores.

#### ***1. Fisuras y grietas.***

Aparecen por efecto de una rotura local que podría ser provocada durante el proceso de soldadura, bien por efecto de tensiones o por enfriamiento. De acuerdo con su orientación, se tratará de defectos longitudinales, transversales (figura 2.4), radiales, discontinuidades ramificadas y de cráter, presentándose como interfaces rugosas. Electrodo inadecuados también influyen en su formación. Otros factores influyentes son la presencia en exceso de carbono, azufre o fósforo en el metal base; una excesiva rigidez da origen a tensiones, y finalmente debe citarse altas corrientes al soldar y cordones de sección muy pequeña.

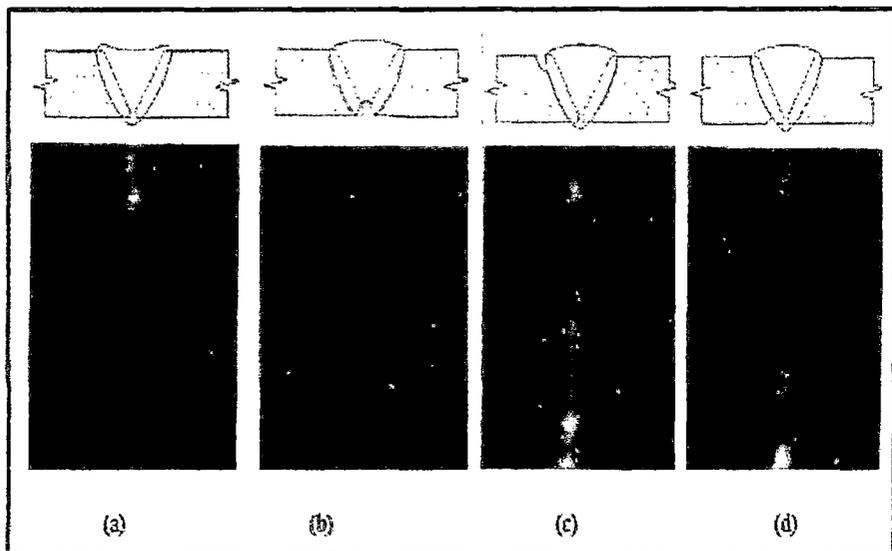


**Figura 2.4. Fisuras en el cordón de soldadura. (a) y (b) fisura longitudinal, (c) fisura transversal.**

Fuente: Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de Comahue – Argentina, 2002

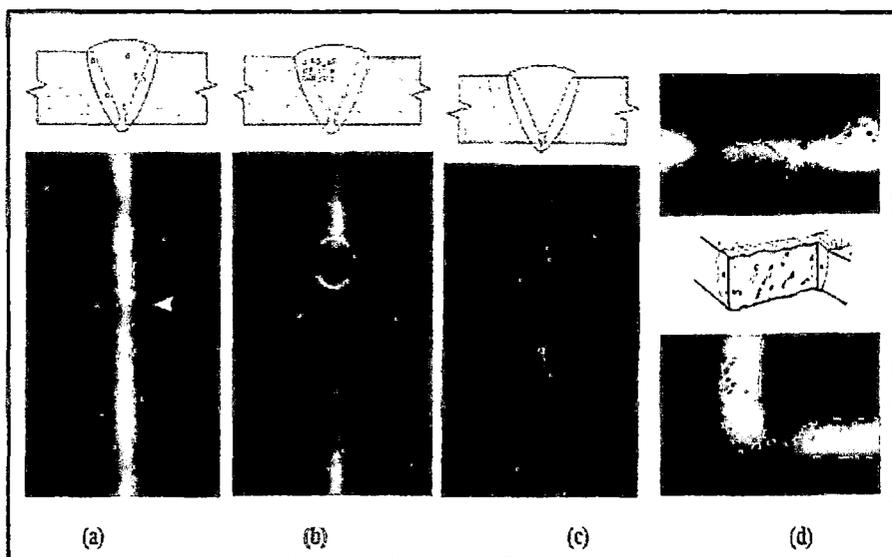
## **2. Inclusiones gaseosas.**

Cavidades (figura 2.5) y porosidades (figura 2.6) que se deben a la presencia de gases aprisionados, presentándose en forma de poros circulares o vermiculares (manchas semejantes a las de inclusiones sólidas); en ocasiones se habla de sopladuras. Estas son, realmente, cavidades alargadas o tubulares, constituidas por inclusiones gaseosas que comprenden: poros esferoidales, aislados o uniformemente repartidos; poros localizados; porosidad alineada y alargada; porosidad vermicular (tubular) y picaduras, poros de pequeñas dimensiones y, en ocasiones, abiertos a la superficie.



**Figura 2.5. Inclusiones gaseosas. (a) Concavidad externa, (b) concavidad interna (c) y (d) Socavaduras o mordeduras de bordes.**

Fuente: Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de comahue – Argentina, 2002



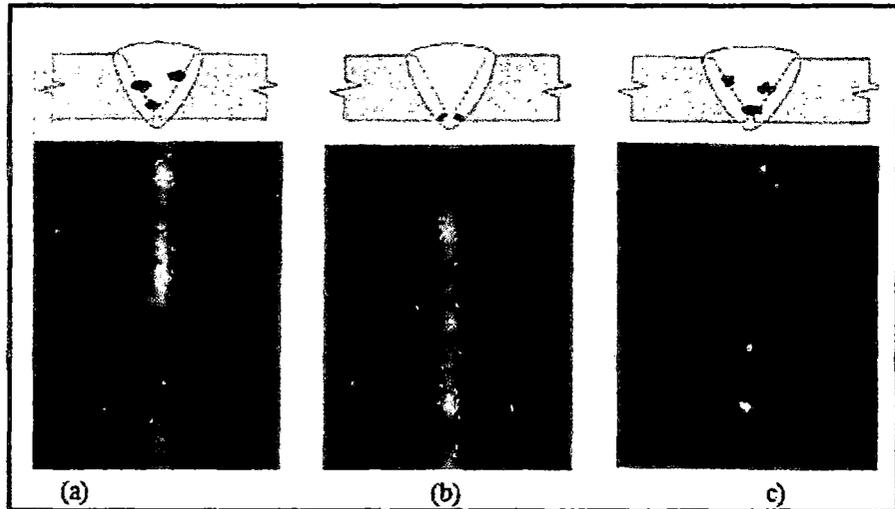
**Figura 2.6. Porosidades. (a) Porosidad esférica aislada, (b) porosidad agrupada, (c) porosidad alineada, (d) Porosidad alargada o vermicular.**

Fuente: Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de comahue – Argentina, 2002

### 3. *Inclusiones sólidas.*

Corresponden a inclusiones de escorias, fundentes, óxidos y metálicas, que quedaron aprisionadas durante el proceso, teniendo su origen en una falta de limpieza inicial, siendo más comunes en las uniones por pasadas

múltiples. Cordones mal distribuidos; electrodos no apropiados; avance lento y débil corriente son otros factores. Aparecen de formas irregulares (figura 2.7).

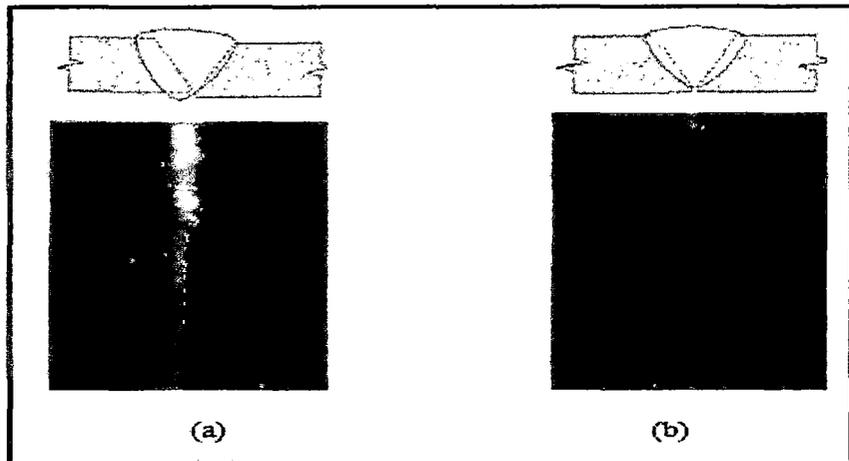


**Figura 2.7. Escorias en el cordón de soldadura. (a) Inclusiones de escorias aisladas (b) Línea de escorias, (c) Inclusiones de tungsteno.**

Fuente: Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de comahue – Argentina, 2002

#### **4. Falta de fusión y de penetración.**

Es el resultado de una falta de unión entre el metal base y el de aporte, localizándose en los bordes laterales del cordón, o muy próximo al mismo, entre pasadas o en la raíz. Muy semejante es la falta de penetración, asociada en ocasiones con la presencia de escorias. Este defecto se presenta en la raíz debido a que el metal de aporte no relleno la misma. Su orientación es paralela al cordón estando situada, aproximadamente, en el centro del mismo (figura 2.8).



**Figura 2.8. Falta de fusión y penetración (a) Falta de fusión de un bisel en la raíz, (b) Falta de penetración.**

Fuente: Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de comahue – Argentina, 2002

### 5. Defectos externos.

También se conocen como defectos de forma. A simple vista se observa en ocasiones irregularidades en la forma del cordón, afectando a su geometría. Una corriente excesiva; velocidad de avance demasiado lenta; longitud excesiva del arco; movimiento transversal irregular y pieza recalentada son factores que dan origen a aquellas heterogeneidades. Así resultan las mordeduras de borde, que se presentan como ranuras o gargantas en la superficie de la pieza y a lo largo del cordón o bien en la raíz. Una incorrecta posición del electrodo y un diámetro excesivo del mismo influyen en su formación. En realidad se trata de insuficiencia o de falta de metal.

Otros tipos de defectos externos son: sobre espesores excesivos; convexidad excesiva; exceso de penetración; defectos de alineación; deformación angular; ángulos de sobre espesor excesivo; falta de espesor; defectos de simetría de la soldadura en ángulo; anchura irregular; quemones y empalme defectuoso. La figura 2.9 representa

algunos de los defectos más importantes a que se ha hecho referencia. Existen además los conocidos como defectos varios, no incluidos entre los anteriores, como son: corte de arco; proyecciones o salpicaduras de metal fundido y también de partículas de volframio; desgarre o deterioro local del metal base y, finalmente, las marcas de amolado y picaduras que provocan deterioros locales, así como el amolado excesivo que reduce el espesor.

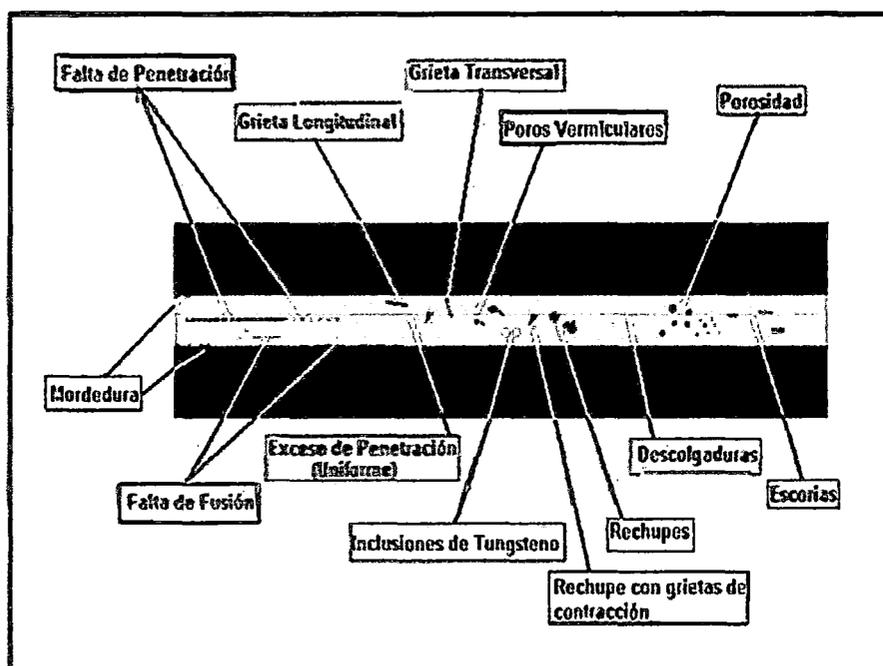


Figura 2.9. Diversos defectos producidos en la soldadura.

### 2.3.3. Ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos (END) o también llamado en inglés (NDT) de nondestructive testing, son técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semi-acabados, piezas, partes, componentes en servicio, recipientes, tanques y tuberías sujetos a presión, ductos, oleoductos, gasoductos, estructuras o uniones soldadas, para la detección de

heterogeneidades internas y superficiales a través de principios físicos, sin perjudicar la posterior utilización de los productos inspeccionados.

La finalidad de estas inspecciones es detectar discontinuidades, fallas, fracturas o defectos que afecten la utilidad, el tiempo de vida en servicio o la calidad durante su fabricación de los objetos.

Las etapas básicas de la inspección de un material estructural, mediante los métodos de ensayos no destructivos [7], en lo que respecta a los problemas de defectología, caracterización y metrología, es decir su calidad intrínseca pueden resumirse en los siguientes:

- Elección del método y técnicas operatorias idóneas.
- Obtención de una indicación propia.
- Interpretación de la indicación.
- Evaluación de la indicación.

Entonces el objetivo de cada método de control es analizar si hay discontinuidades, caracterizarlas y posteriormente evaluarlas, estas se evalúan según el código de contrato el cual define los criterios de aceptación o rechazo para cada aplicación específica.

### ***Ventajas***

Los NDT no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas o mecánicas, o las dimensiones de la parte sujeta a inspección. Es decir, en caso de que el material esté “sano”, la parte sujeta a inspección no se daña ni se destruye, y puede seguir en servicio o pasar al siguiente proceso.

### ***Campo de aplicación***

Actualmente, los NDT constituyen una herramienta imprescindible para el mantenimiento preventivo, la seguridad industrial y el control de calidad de los procesos productivos ya que permiten la inspección de productos soldados, fundidos, forjados, laminados, etc., de casi cualquier material.

Los NDT tienen aplicación en la industria eléctrica, metalmeccánica, química, petroquímica automotriz, siderúrgica, de transportes, aeronáutica y naval.

### ***Tipos de ensayos no destructivos, descripción y aplicación.***

Existen numerosos tipos de ensayos no destructivos actualmente en uso [7], los cuales están permanentemente en evolución. Entre los que se aplican en el campo de la soldadura, se pueden citar los siguientes:

- Inspección o ensayo visual
- Ensayo por líquidos penetrantes
- Ensayo por partículas magnéticas
- Ensayos radiográficos
- Inspección o ensayo por ultrasonido

#### ***1. Ensayo Visual (VT).***

Es probablemente el tipo de ensayo no destructivo más ampliamente utilizado. Es el más fácil de aplicar, acarrea resultados rápidos y normalmente tiene un costo bajo.

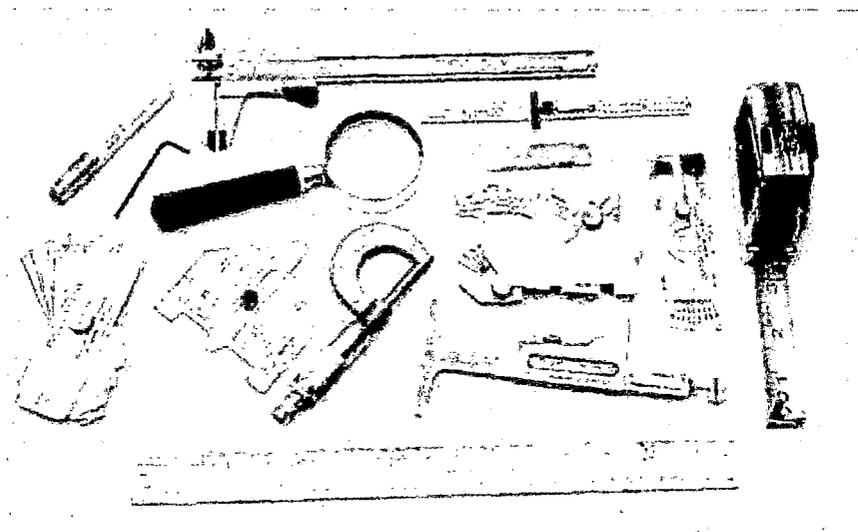
Usualmente, una pieza antes de ser sometida a otros tipos de ensayo no destructivos, debe ser inspeccionada visualmente. Por ejemplo la inspección visual de una soldadura por un inspector entrenado, puede

revelar entre otras las siguientes informaciones sobre la calidad de la misma: La presencia u ausencia de discontinuidades superficiales, la orientación de estas en relación a las varias regiones de la soldadura, porosidades superficiales, mordeduras, etc.

De esta manera, los resultados de la inspección visual pueden auxiliar, en mucho, la aplicación posterior de otras pruebas no destructivas.

El principio básico de la prueba no destructiva visual es iluminar bien la zona de la pieza a inspeccionar. La pieza será examinada, entonces, directamente al ojo o a través de algún accesorio (figura 2.10) como un endoscopio o fibroscopio.

El equipo requerido para la inspección visual es extremadamente simple, siendo por tanto, primordial una buena iluminación de la pieza. Conviene observar también que la superficie de la pieza este limpia antes de efectuar el examen.



**Figura 2.10. Herramientas de inspección visual**

Fuente: AWS, Tecnología de inspección de soldadura, módulo 3 – Procesos de unión y corte de metales.

## 2. *Líquidos penetrantes (PT).*

La inspección por líquidos penetrantes es un método de END usado para la detección de discontinuidades que aparezcan en la superficie de la pieza. El uso de líquidos penetrantes puede ser considerado como una extensión de la inspección visual. Muchas discontinuidades reveladas por el método de líquidos penetrantes no podrían ser detectadas a través de la inspección visual realizada por un inspector experimentado.

Los líquidos penetrantes revelan una discontinuidad en una gran extensión haciendo que la inspección dependa menos del elemento humano, esto hace que este método sea más adaptado a un sistema de producción, aumentando la credibilidad en la rapidez de inspección.

El método de los líquidos penetrantes es utilizado en materiales magnéticos como no magnéticos ofreciendo así, una ventaja en relación con la prueba de partículas magnéticas que no pueden ser empleadas en el último caso.

La prueba de líquidos penetrantes tiene la ventaja de ser un ensayo rápido, fácilmente aplicable y relativamente barato. Sin embargo, ofrece la desventaja de que solamente revela discontinuidades existentes en la superficie de la pieza.

Todas las fallas encontradas a través de los líquidos penetrantes dan solamente una indicación aproximada de la profundidad y tamaño del defecto.

La técnica por líquidos penetrantes (figura 2.11- 2.12) consiste en la aplicación sobre la pieza, luego de la limpieza de la misma, de un líquido “penetrante” de un color generalmente rojo de baja viscosidad que, en función de esto, penetra en las discontinuidades existentes en la superficie, bajo principios de capilaridad, después, se limpia nuevamente la pieza por medio de un líquido removedor cuya función es la de eliminar el exceso de líquido penetrante que ha quedado en la superficie, para aplicar posteriormente otro líquido llamado “revelador” que normalmente tiene talco en suspensión. El líquido penetrante aprisionado en la discontinuidad de la pieza será absorbido por el revelador y como el primero posee una coloración roja, mostrara las discontinuidades existentes en la pieza.

También en el caso de los líquidos penetrantes el equipo requerido es extremadamente simple, de bajo costo siendo, por lo tanto, fundamental la calidad de los líquidos requeridos.



Figura 2.11. Proceso general de aplicación de líquidos penetrantes  
Fuente: [http:// mx. geocities. com/ pndmx](http://mx.geocities.com/pndmx)

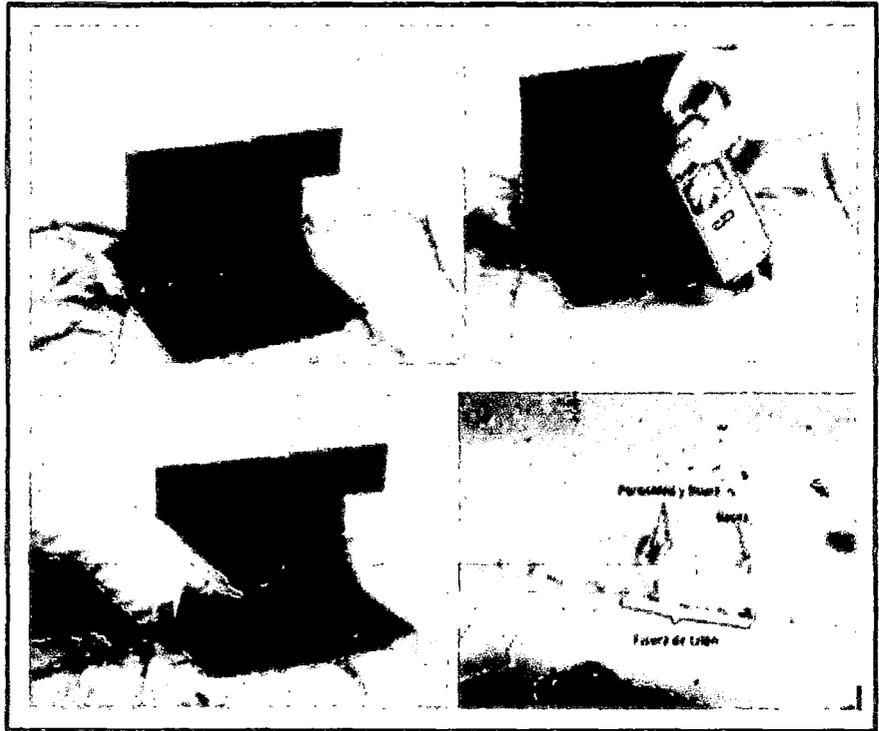


Figura 2.12. La prueba de líquidos penetrantes

### 3. *Partículas magnéticas (MT).*

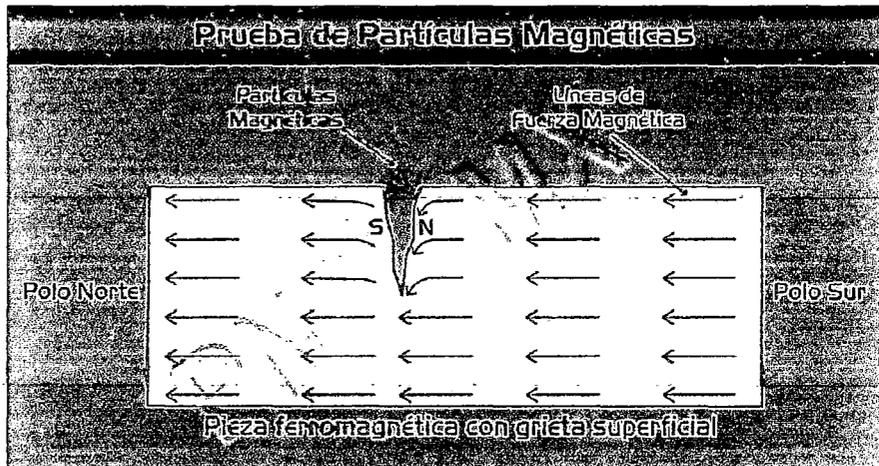
La inspección por partículas magnéticas es un método para la localización de defectos superficiales y subsuperficiales (próximos a la superficie más no abiertos a la misma) en materiales ferro-magnéticos. Su operación está basada en el hecho de que, cuando la pieza a examinar es magnetizada (figura 2.13), las discontinuidades existentes causan un campo de fuga, en el flujo magnético. Este campo de fuga, generado por discontinuidades, será detectada a través del uso de partículas ferro-magnéticas finamente divididas, aplicadas sobre la superficie, pues las mismas serán atraídas por el campo de fuga y se aglomeraran en el contorno del mismo, indicando su localización, forma y extensión.

Estas partículas son aplicadas en la superficie de forma seca o húmeda en suspensión en líquidos como agua o aceite, pueden ser visibles con luz blanca o con luz ultravioleta (figura 2.14).

Hay, no obstante, ciertas limitaciones en cuanto a este método que deben ser de conocimiento del inspector.

Entre estas limitaciones se pueden destacar las siguientes:

- Películas de pintura u otra capa no magnética sobre la pieza que puedan ocultar los resultados.
- El método sólo es aplicable a materiales ferromagnéticos (aleaciones ferrosas exceptuando aceros inoxidables austeníticos).
- Para mejores resultados, el campo magnético debe tener una dirección que intercepte el plano principal de la discontinuidad. Debido a esto, normalmente son requeridas dos o más secuencias de operaciones en una misma región de la pieza, en diferentes direcciones.
- Es necesario desmagnetizar la pieza después de realizado el ensayo.
- Para piezas de gran tamaño son requeridas altas corrientes eléctricas.



**Figura 2.13. Proceso de prueba de partículas magnéticas**  
Fuente: [http:// mx. Geocities.com/padmx](http://mx.Geocities.com/padmx)



**Figura 2.14. Prueba de partículas magnéticas**

#### 4. Ultrasonido (UT).

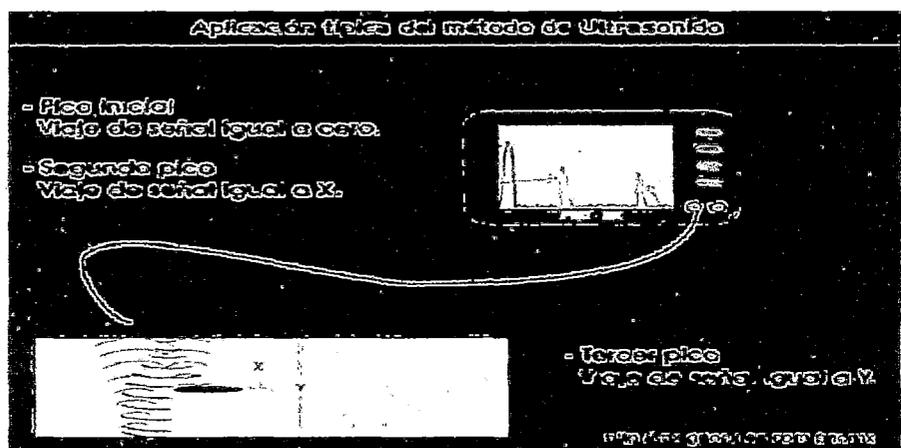
La inspección ultrasónica es un método de ensayo no destructivo para el cual grupos de ondas de alta frecuencia introducidas en el material inspeccionado son utilizados para detectar defectos superficiales e internos (figura 2.15 – 2.16).

Las ondas atraviesan el material con cierta atenuación y son reflejadas en las interfaces. Este haz reflejado es detectado y analizado

definiendo entonces la presencia y la localización de las discontinuidades.

El ensayo ultrasónico es basado en el hecho de que la presencia de una discontinuidad o un cambio en la densidad del material actuará como si fuese reflector de propagaciones de alta frecuencia en ese punto. El equipo de ultrasonido posee un cabezal o palpador, que contiene un cristal de cuarzo (u otro material piezo-eléctrico).

Cuando un voltaje es aplicado, el cristal vibra a alta frecuencia. Cuando el cabezal ultrasónico es colocado sobre la pieza con su acoplante adecuado, esta vibración es transmitida a la misma hasta encontrar una discontinuidad o cambio de densidad. En este punto, parte de esta energía (vibración) es reflejada de vuelta, llegando nuevamente al cabezal, transmitiendo la vibración al cristal el cual la transformará en pulsos eléctricos que podrán ser visualizados en la pantalla del osciloscopio.



Fuente: [http:// mx. Geocities.com/pndmx](http://mx.Geocities.com/pndmx)

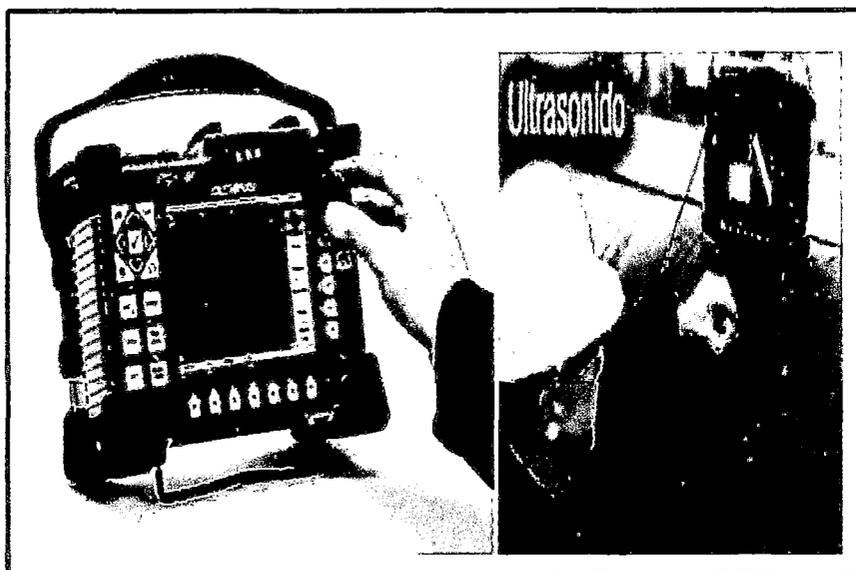


Figura 2.16. Inspección de tubería por ultrasonido

##### 5. *Radiografía industrial (RT).*

La radiografía es un método usado para la inspección no destructiva, que se basa en la absorción diferencial de radiación penetrante por la pieza que ésta siendo inspeccionada (figura 2.17). Debido a diferencias en las características de absorción causada por las variaciones de masa, composición y estructura del material, diferentes regiones de una misma pieza absorberán cantidades diferentes de radiación penetrante. Esa absorción diferencial de radiación penetrante podrá ser detectada a través de una película, o a través de un tubo de imagen, o la misma podrá ser medida por tipos de detectores electrónicos de radiación. Esa variación de la cantidad de radiación absorbida, detectada a través de un medio, indicará entre otras cosas la existencia de una discontinuidad interna en un material.

La radiografía industrial, es entonces usada para detectar características de una región de un determinado material, comparada

con una región cercana. Diferencias muy grandes son más fácilmente detectadas, generalmente, la radiografía puede detectar solamente aquellas características diferentes de una región que presente una variación en el espesor, en el plano paralelo a la dirección del haz de radiación. Esto quiere decir que la capacidad del proceso de detectar discontinuidades con varios espesores en planos perpendiculares al haz, como fisuras, dependerá mucho de la técnica de prueba realizada. Discontinuidades como poros e inclusiones que presenten un espesor variable en todas las direcciones, serán fácilmente detectadas siempre que no sean muy pequeñas en relación al espesor de la pieza. En general, variaciones que presentan el 2% o más de la variación de absorción en relación al espesor total, podrán ser detectadas.

La inspección radiográfica es muy usada en la inspección de fundiciones, forja y soldaduras, particularmente donde se exige la necesidad de evitar discontinuidades internas en el material (figura 2.18).

Dada su capacidad de revelar discontinuidades en una variedad de materiales, la radiografía industrial es actualmente uno de los principales ensayos no destructivos en uso.

El ensayo radiográfico, generalmente requiere de las siguientes etapas en su proceso:

- La exposición de una película a la radiación X o gamma que atraviesa un cuerpo cualquiera.
- El procesamiento de esta película.

- La interpretación de la radiografía resultante.

Existe variedad de estos procedimientos y el éxito de cualquier ensayo dependerá del conocimiento y del control de esas técnicas.

***Ventajas y limitaciones del ensayo radiográfico.***

Como ventajas de aplicación del ensayo radiográfico, como un medio de inspección y control de calidad, se pueden citar las siguientes:

- Puede ser aplicado a la mayoría de los materiales.
- Puede dejar un registro permanente del resultado del examen.
- Revela la naturaleza interna del material.
- Puede ser aplicado en un proceso, indicando la acción correctiva necesaria en caso de defectos.

Existen tanto limitaciones físicas, como económicas en la utilización del ensayo radiográfico, así requisitos geométricos hacen que dicho ensayo sea impracticable en piezas de forma compleja. Cuando una orientación apropiada de la fuente de radiación, de la pieza y de la película, no pueden ser obtenidas, la prueba radiográfica es de poco valor.

De la misma forma, cualquier pieza que no permita la colocación de la película de lado opuesto a la fuente, no puede ser evaluada por este método. Debemos considerar también, que la radiografía se basa en las diferencias de densidad y de absorción de los materiales y por esto mismo tienen poco valor en la detección de pequeñas discontinuidades que no sean paralelas a la línea de radiación. Defectos laminares

difícilmente son detectados. Las condiciones de seguridad radiológica impuesta para rayos X y gamma también pueden ser consideradas como limitaciones.

La sumisión a los reglamentos de seguridad exigidos en los ensayos radiográficos, demanda tiempo y equipos especiales de protección aumentando los costos.

La inspección radiográfica es un medio relativamente caro de ensayo no destructivo. Se torna más económico cuando es aplicado a materiales de fácil manipuleo y geometría simple. El examen de piezas de gran espesor, exige equipo de alta energía encareciendo el método.



Figura 2.17. Proceso aplicación de radiografía  
Fuente: [http:// mx. Geocities.com/pndmx](http://mx.Geocities.com/pndmx)



Figura 2.18. Inspección radiográfica  
Fuente: Presentación – curso radiografía industrial (IPEN)

## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1. Ejecutores del proyecto

El proyecto Las Bambas es un proyecto de exploración y explotación minera, cuyos adjudicatarios son: Glencore y Xstrata. El desarrollo del proyecto en su etapa de construcción ha sido asignado a la corporación constructora Bechtel, esta corporación cuenta con el apoyo de empresas contratistas especializadas en rubros específicos, como: Graña y Montero, en soldaduras y montaje; Bureau Veritas, control de calidad de concretos y ensayos no destructivos; Motaengil, movimiento de tierra; Tecno Fast ATCO, instalación de oficinas; OHL, infraestructura civil; Prosegur, seguridad; Aramark, alimentación; UNICON, concretos; Disal, gestión ambiental; Pevoex, voladuras con explosivos; Transportes Línea , transporte de personal; Plan Vital, salud; entre otros.

**Bechtel.** Es una corporación del rubro de la ingeniería, la construcción y gestión de proyectos. Abarca la energía, el transporte, las comunicaciones, la minería, el petróleo y el gas, y servicios gubernamentales, que fue fundada en 1898 y ha realizado trabajos en más de 25.000 proyectos en 160 países del mundo. Los trabajos que realiza incluye:

- Las carreteras y sistemas ferroviarios
- Aeropuertos y puertos
- Plantas fósiles y la energía nuclear
- La energía renovable
- Las refinerías y plantas petroquímicas
- Las minas y fundiciones

- Instalaciones de defensa, la seguridad nacional de ciencia, y aeroespacial
- Proyectos de limpieza ambiental
- Las redes de comunicaciones
- Pipelines
- El desarrollo de campos de petróleo y gas

**Bureau Veritas.** El Grupo Bureau Veritas es una corporación dedicada a asistir en cumplir con los estándares y normativa relativa a Calidad, Salud y Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social.

Cuenta con una red de oficinas que despliega las habilidades multidisciplinares de más de 26.000 empleados en 700 sucursales y laboratorios en todo el mundo. Se encarga a suministrar una gama integral de servicios que incluyen la inspección, pruebas, estudios, certificación, clasificación de barcos y asistencia técnica relacionada, servicios consultivos, formación y contratación externa.

El sucursal en el Perú es Bureau Veritas del Perú S.A., la misma que cuenta con un contrato en el proyecto Las Bambas, consistente en la ejecución de ensayos no destructivos. El desarrollo de la presente tesis se dio en la empresa Bureau Veritas, valiéndose de los equipos para la obtención de datos bajo procedimientos estandarizados.

### **3.1.1. Ubicación de instalaciones**

BUREAU VERITAS DEL PERU S.A., con su Frente de ensayos no destructivos NDT, prestará servicio consistente en servicios técnicos por muestreo en ensayos no destructivos (NDT), control spot a las actividades de soldaduras (piping, pipeline, estanques, estructuras) y de los diferentes



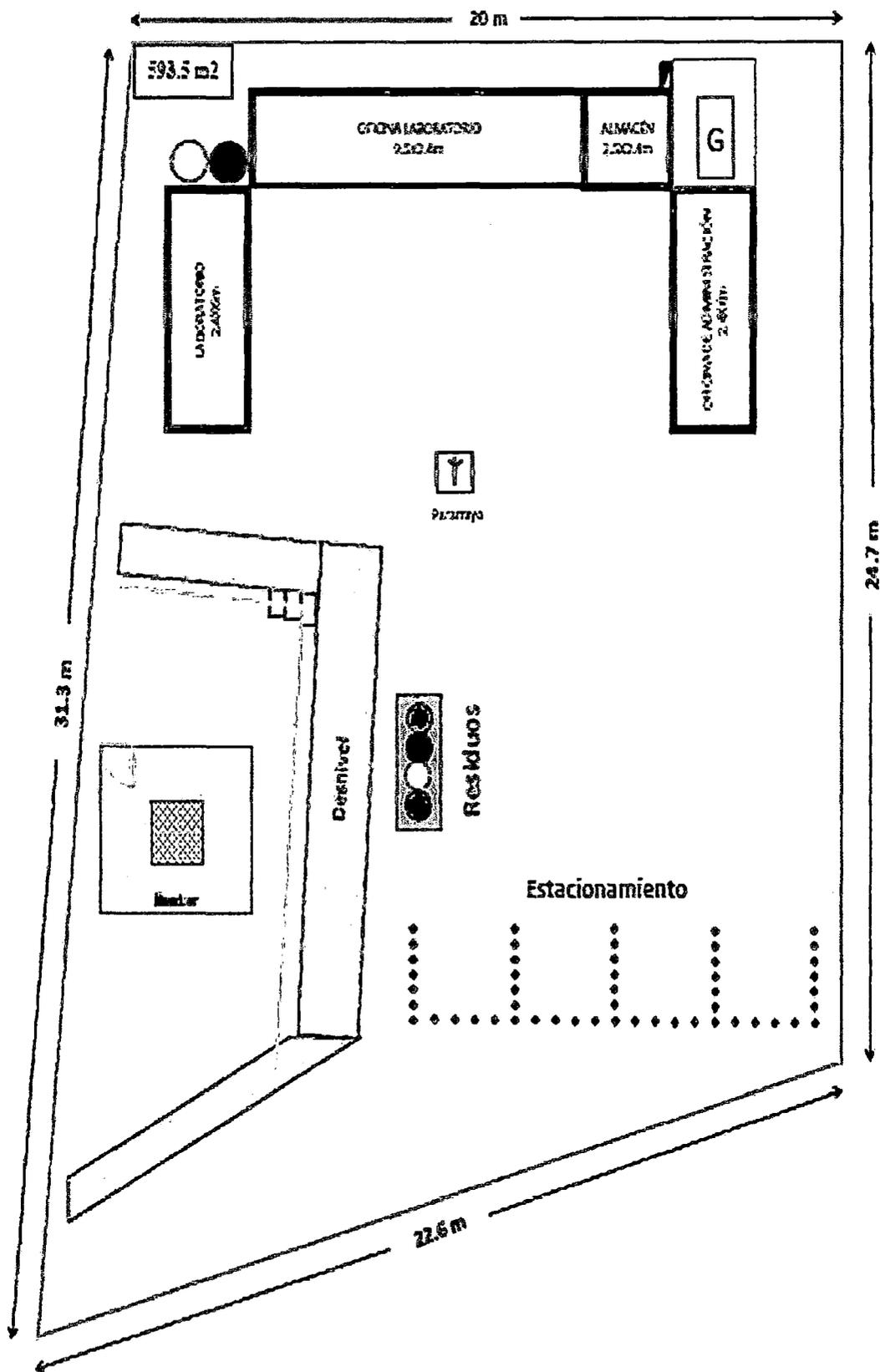


Figura 3.2. Layout de distribución de ambientes

La instalación demandó aproximadamente 3 meses de construcción. Esta involucró tareas de nivelación, construcción de estructuras, montaje e instalación de equipamiento electromecánico (figura 3.3).

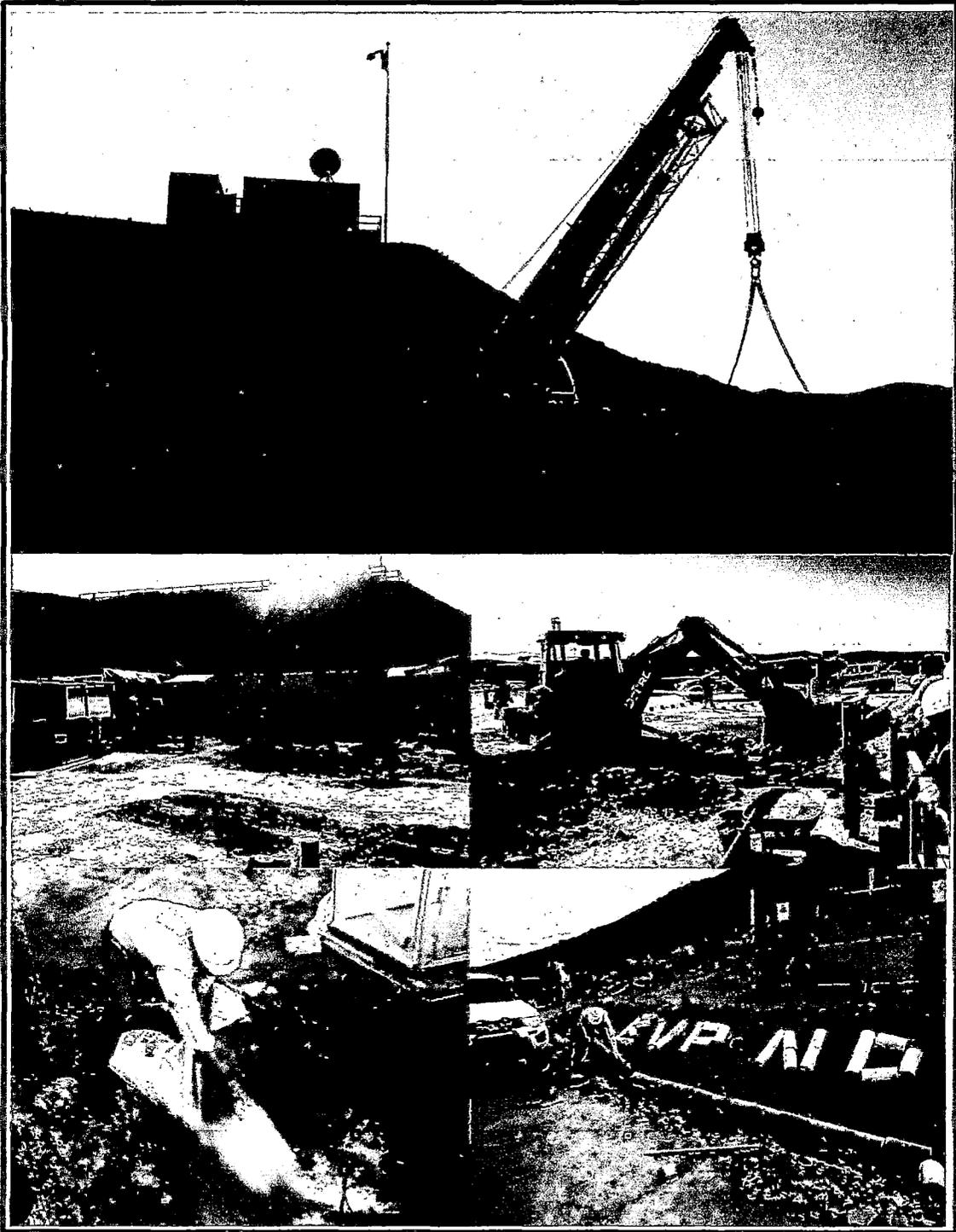


Figura 3.3. Montaje y construcción de instalaciones

La instalación se verá complementada por un bunker de almacenamiento de equipo de gammagrafía industrial, zona de almacenamiento de residuos sólidos y otra de residuos líquidos (figura 3.4).

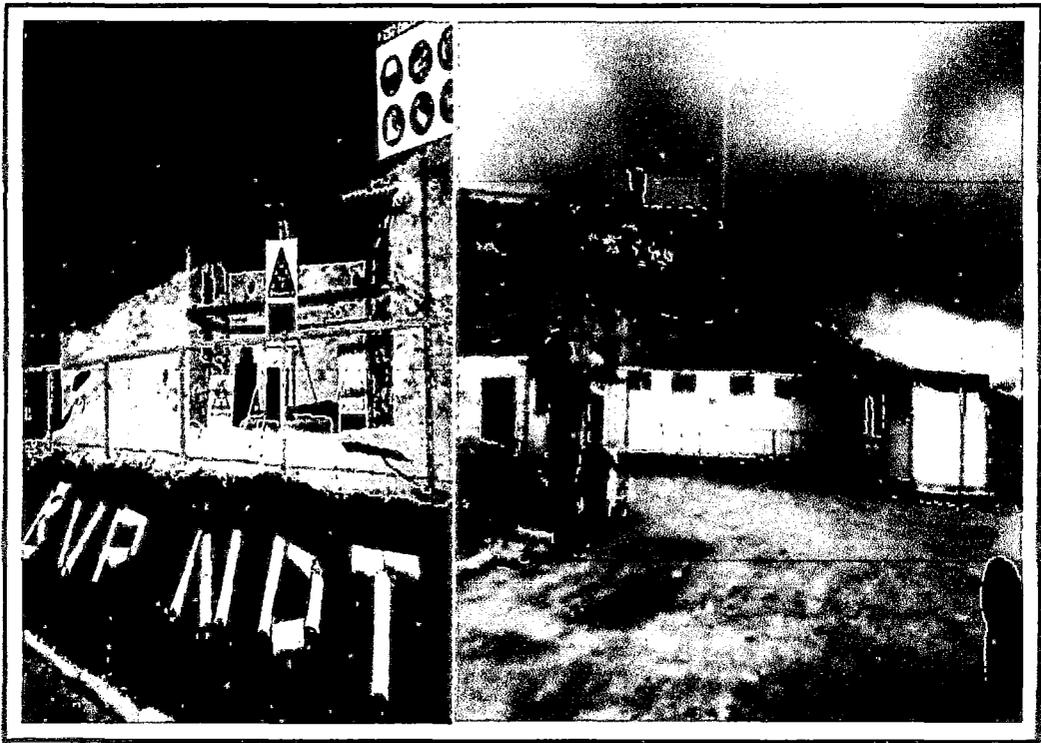


Figura 3.4. Instalaciones de trabajo y bunker para almacenamiento de fuente gammagráfica

### 3.3. Implementación de equipos

El laboratorio de aseguramiento del control de calidad cuenta con todas las herramientas, instrumentos y equipos con certificados de calibración necesarios para hacer las pruebas indicadas, además Bureau Veritas proporcionará los instrumentos, equipos e instalaciones de su laboratorio central o de terceros, que estén disponibles para el servicio, indicando los plazos para los análisis y ensayos. Esta lista de instrumentos, equipos, instalaciones y plazos de respuesta será la necesaria, en cantidad y calidad, para cumplir satisfactoriamente con el servicio requerido por el proyecto durante la ejecución del proyecto Las Bambas (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1:**  
**Principales equipos usados en ensayos no destructivos**

Equipo	Marca	Modelo	N° Serie / Identificación	Tipo	Ensayo / Prueba
EQUIPO DE GAMMOGRAFIA INDUSTRIAL con Fuente de <sup>60</sup> Co	OSAGLOBAL	DELTA500	D11890	EQUIPO	RADIOGRAFIA
GEIGER DETECTOR DE RADIACION	S.E INTERNATIONAL	MC1K	39032	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
CARGADOR DE DOSIMETROS	ARROWTECH	S09B	LJ3593	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
DOSIMETROS LECTURA DIRECTA- LAPICERA	ARROWTECH	W138	MA258428	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
NEGATOSCOPIO	NOINDICA	WIENLITE 6417	02993	EQUIPO	RADIOGRAFIA
DENSITOMETRO	ESECO Speedmaster	SM-12	15009	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
GEIGER DETECTOR DE RADIACION	S.E INTERNATIONAL	MC1K	39032	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
ALARMA SONORA ND-15	NDS	ND-15	81626	INSTRUMENTO	RADIOGRAFIA
Yugo Magnético ACDC	MAGNAFLUX	Y-7	N° Parte: 43560	ENSAYO	PARTICULAS MAGNETICAS
Bata de calibración para Irfi	Fisher Research	W	7239	PATRÓN	PARTICULAS MAGNETICAS
MEDIDOR DE CAMPO MAGNÉTICO (Magnetómetro)	ARKER RESEARCH COR.	MG25-20	3127	INSTRUMENTO	PARTICULAS MAGNETICAS
EQUIPO UT DE MEDICIÓN DE ESPESORES	SONATEST	CT GAGE	755060	EQUIPO	ULTRASONIDO
EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i	OLYMPUS	EPOCH 1000i	130208107	EQUIPO	ULTRASONIDO
BLOQUE DE CALIBRACIÓN, ACERO 1018 II W O V	OLYMPUS	BT7541-1	124213	ACCESORIO	ULTRASONIDO
PATRÓN DE CALIBRACIÓN VI - MATERIAL A1018 STEEL	NOINDICA	NOINDICA	126221-41	PATRÓN	ULTRASONIDO

*Nota: Fuente: Bureau Veritas del Perú S.A.*

### 3.4. Implementación de laboratorio

Dado que el servicio comprende la aplicación de la gammagrafía industrial, es necesario contar con un laboratorio radiológico, también denominado cuarto oscuro. Este es el lugar o espacio físico donde el técnico radiólogo realiza el procesamiento de la película radiográfica y a su vez, la carga y descarga de las películas radiográficas.

El cuarto oscuro debe reunir una serie de condiciones para que el trabajo realizado en él tenga los resultados de calidad, seguridad y rapidez que se desean.

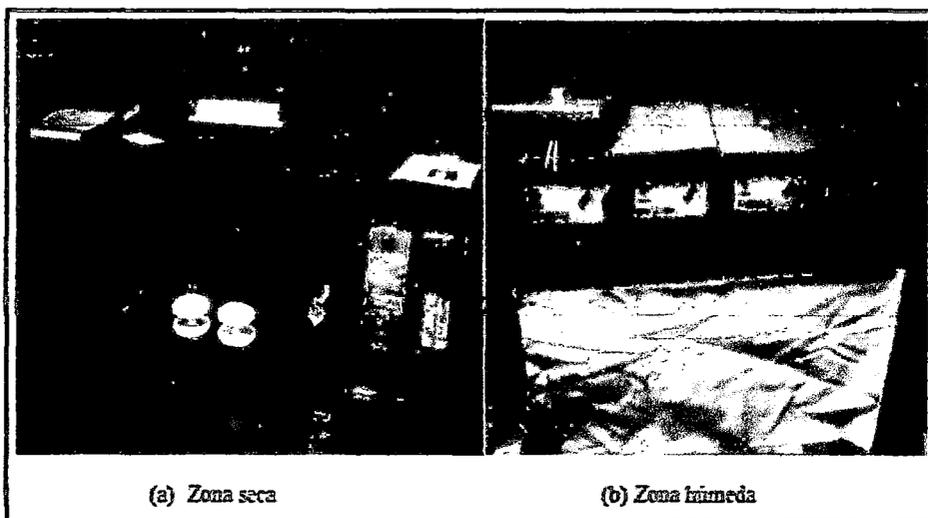
#### 3.4.1. Dimensiones, temperatura, humedad y accesorios.

Al instalar hemos asegurado de que en el cuarto oscuro no penetre la luz de ninguna manera, asegurando la total hermeticidad de las ventanas, puertas y conductos de ventilación de esta instalación. Ninguna luz ha de

ser visible para una persona que haya pasado 10 minutos dentro de ella en oscuridad total.

***Dimensiones.***

El cuarto oscuro tiene una dimensión de 2.4m x 2.5 m, en la cual se ha dispuesto una zona seca y una zona húmeda (figura 3.5). La zona seca es donde se manipulan los chasis para el vaciado de la película expuesta y el posterior cargado con película virgen.



**Figura 3.5. Zonas de laboratorio de revelado – cuarto oscuro. (a) Zona seca, (b) Zona húmeda.**

Debajo de la mesa de trabajo se han situado el cajón depósito de películas vírgenes, construido de forma que mantenga separados los diferentes tamaños. Este cajón será hermético a la luz y a la humedad y dispondrá de algún sistema de seguridad para evitar que se quede abierto por descuido.

En la pared de frente a estos módulos se encontrará la zona húmeda, con los tanques de líquidos. Esto nos disminuirá bastante la probabilidad de que se produzcan salpicaduras, que estropeen el mobiliario o impregnen la mesa de trabajo al mezclar los químicos.

### ***Iluminación de seguridad.***

El cuarto oscuro ha de tener, una luz blanca adecuada que posibilite los trabajos de almacenaje, limpieza, clasificación, etc. Esta luz se debe controlar por un interruptor fuera del alcance normal, de modo que no sea posible accionar la luz blanca accidentalmente durante los trabajos con películas vírgenes o expuestas.

Las películas deben manipularse y procesarse en oscuridad, para ello se utilizaran una luz de seguridad de emisión roja (figura 3.6), las lámparas montarán bombillas de seguridad de 25 watts. La iluminación de seguridad dentro del cuarto oscuro debe estar encima de la mesa de la zona seca.



**Figura 3.6. Luz de seguridad de emisión roja**

### ***Temperatura, Humedad.***

Es importante mantener el cuarto oscuro y las salas de almacenamiento a una temperatura entre 20 y 30 °C, y a una humedad relativa entre 25% y 50%. Las temperaturas demasiado altas pueden generar vapor (figura 3.7).



**Figura 3.7. Termómetro, higrómetro digital**

### **3.5. Implementación de plan de aseguramiento de la calidad**

En este apartado se describirá el plan de aseguramiento y control de la calidad específico requerido en la prestación de servicios técnicos para ensayos no destructivos (NDT). Este plan es aplicable a todas las actividades, personas y documentos asociadas a la ejecución de los ensayos no destructivos en proyecto Las Bambas.

Durante el desarrollo del proyecto Las Bambas se realizarán ensayos no destructivos, bajo las técnicas de radiografía, inspección visual, ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas.

Estos ensayos son realizados por personal calificado de acuerdo a las recomendaciones y requisitos de la Sociedad Americana de ensayos no destructivos (ASNT), práctica recomendada SNT-TC-1<sup>a</sup> edición de 2006 que asegura la efectividad de las actividades.

#### **3.5.1. Objetivos de calidad.**

El plan de calidad establece los siguientes objetivos de gestión durante el desarrollo del proyecto:

- Asegurar la calidad de los servicios.
- Llevar a cabo todo el proyecto con cero accidentes con tiempo perdido.
- Levantar el 100% de las eventuales no conformidades detectadas por medio de las auditorías internas durante el proyecto.

#### **3.5.2. Alcances.**

El alcance del servicio consiste en prestar servicios técnicos por muestreo para ensayos no destructivos (NDT) y otros materiales a ser aplicados

como control spot a las actividades de soldaduras (piping, pipeline, estanques, estructuras) así como ensayos especiales tanto en la planta como en el mineroducto, de los diferentes materiales utilizados y trabajos ejecutados por contratistas y proveedores en faena durante la etapa de construcción del proyecto.

El servicio se deberá realizar implementando en terreno equipos de laboratorio calibrados y certificados, con personal especializado y calificado de acuerdo a la práctica recomendada SNT-TC-1<sup>a</sup>, para desarrollar análisis y ensayos que verifiquen el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

La ejecución del servicio se realizará de acuerdo a lo establecido en el cronograma de trabajo indicado en la orden de servicio requerido por el coordinador del cliente o supervisor del cliente.

La ejecución del servicio será en función a los requerimientos solicitados por el cliente, se realizará de acuerdo a procedimientos establecidos y aceptados, detallados a continuación:

- Procedimiento general de radiografía según ASME B&PVC Sec. V Art. 2.
- Procedimiento de líquido penetrante según ASME sección V, solvente del tipo removible y lavable en agua.
- Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de ultrasonido pulso eco.
- Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de partícula magnética para ASME sección V (sólo yugo)

### **3.5.3. Estructura organizativa.**

La organización cuenta con personal competente para la realización de las actividades, todo el personal de ensayos no destructivos está calificado y certificado de acuerdo a la práctica recomendada SNT-TC-1<sup>a</sup>. La estructura organizacional propuesta para el proyecto se presenta en el anexo I.

### **3.5.4. Responsabilidades frente a la calidad del proyecto.**

#### ***Gerente de contratos.***

El gerente de contratos es el responsable de dirigir y supervisar las actividades y funcionamiento de los sistemas de calidad de todos los contratos en ejecución que tiene a su cargo, coordinando éstas en forma permanente con los coordinadores, administradores y el responsable de seguridad, asegurando así el cumplimiento de todos los procedimientos e instructivos vigentes.

#### ***Administrador de contrato.***

El administrador de contrato del servicio es responsable de llevar la administración del servicio y planificar programas internos de trabajo en las áreas de actividad que le corresponde, de acuerdo con las directrices del gerente de contratos y dentro del marco de los procedimientos generales.

Dispone de los procedimientos documentados para el control de todos los equipos e instrumentos a su cargo y para todos los trabajos que el laboratorio bajo su responsabilidad, esté autorizado a ejecutar.

Asimismo es responsable de implementar, monitorear y aplicar las acciones de mejora respectivas correspondientes al presente programa de calidad.

***Gerente de Calidad.***

Responsable de la calidad del servicio, tiene la autoridad y responsabilidad de planificar, organizar, desarrollar, administrar los recursos asignados y supervisar todas las actividades relacionadas con el sistema de calidad adoptado por la empresa, con el propósito de cumplir con la política y objetivos de calidad propuestos; llevará adelante las auditorías internas y el seguimiento de las acciones correctivas así como será responsable de llevar los registros e indicadores de calidad según se hayan definido.

***Profesionales del servicio.***

Cumplir lo especificado en el plan de calidad según corresponda. Realizar las auditorías de gestión y de procesos productivos. Todo el personal asignado en los diferentes puestos de trabajo realizará los servicios según las instrucciones del responsable de calidad y será directamente responsable de la realización correcta de los servicios que se le han asignado y de la calidad de su trabajo. Por lo tanto, antes de realizar un servicio se debe:

- Examinar las instrucciones concretas relativas al servicio;
- Asegurarse de que se dispone de los recursos adecuados para realizar el servicio que se le ha confiado;
- Revisar las guías metodológicas que precise (por ejemplo, normas, procedimientos, manuales, estándares de calidad);

- Comprobar que las herramientas o recursos que se tienen que utilizar se encuentran en buen estado;
- Todo el personal deberá cumplir las normas de seguridad y medio ambiente del cliente a ejecutarle el trabajo.

### **3.5.5. Sistema de control.**

Este proceso está compuesto por las consideraciones de logísticas necesarias que aseguren, de manera efectiva y económica, el soporte de la solución a través de todo el ciclo de vida del proyecto.

### **3.5.6. Control de documentos.**

Toda la documentación empleada en el proyecto será organizada en forma sistemática, a fin de ordenar integralmente las actividades realizadas. Se dará especial énfasis al control, registro, emisión y distribución de todos los documentos resultantes de las actividades de control de calidad y ensayos.

### **3.5.7. Emisión de informes.**

Los informes son el medio que materializa la información generada por, o asociada a, los servicios que se presta. Más allá de los atributos de fondo de los ensayos, inspecciones, calibraciones y otros servicios cuyos antecedentes y resultados están contenidos en sus informes, ellos deben reflejar el nivel de excelencia planteados en el presente plan y deberán tener una identificación definido por el cliente con el número de correlativo correspondiente.

El jefe de laboratorio del servicio es responsable de:

- a. Implementar la aplicación de estas indicaciones en el proyecto.

- b. Definir a las personas autorizadas para firmar los informes y establecer un registro de firmas de estas personas en cada una de las áreas de su división.
- c. Es responsable de controlar que todas las actividades en la prestación de un servicio se desarrollen de manera eficiente e imparcial, debiendo de preferencia firmar los informes emitidos bajo su área de responsabilidad.

#### **3.5.8. Solicitud de un servicio de ensayo y/o pruebas.**

Los servicios solicitados por el cliente pueden ser, UT ultrasonido, RT gammagrafía, MT partículas magnéticas, PT ensayos de líquidos penetrantes. Se desarrollarán la secuencia de acuerdo al flujograma detallado en el anexo II.

#### **3.5.9. Adquisiciones.**

El gerente de contratos del servicio es responsable de hacer efectiva la compra de equipos, instrumentos, materiales, insumos y servicios necesarios para el buen funcionamiento de las actividades del proyecto.

La prestación de servicios de ensayos de laboratorio, consulta la adquisición de insumos operacionales de uso habitual de este servicio, los cuales serán suministrados al proyecto de acuerdo al cronograma de implementación y habilitación de insumos administrados por el gerente de contratos. Para estos efectos el administrador de contrato solicitara la compra de insumos, la cual efectuara la gestión de compra de los suministros solicitados por el administrador de contratos y/o gerente de

proyectos para todo el proyecto, esta gestión se efectuará en forma trimestral.

#### **3.5.10. Identificación y trazabilidad del servicio.**

La trazabilidad de los documentos de calidad emitidos durante el desarrollo de los servicios de ensayos de laboratorio y su identificación, quedarán asegurados a través de un sistema único de identificación basado en el “control de documentos y registros”, el cual se adaptará a los requisitos que el mandante manifieste durante el proyecto. Es responsabilidad del gerente de contrato, el control de esta trazabilidad.

Las operaciones de manejo, recepción, registro, toma, transporte, almacenamiento y control de los ensayos realizados y análisis se encuentran regulados por un sistema de identificación y acorde a los requerimientos del cliente.

#### **3.5.11. Control de los servicios.**

Los servicios de ensayos prestados, serán controlados a través de la aplicación de los procedimientos establecidos en el presente plan de calidad (ver 3.6), con personal técnicamente calificado y entrenado, equipos calibrados y el debido control de la documentación de calidad.

#### **3.5.12. Control del equipo de inspección, medición y ensayo.**

Se deberá mantener bajo control metrológico los equipos y materiales de referencia utilizados en la realización de un ensayo, asegurando que los equipos estén siempre metrológicamente conformes. Para ello se utilizará el plan maestro de confirmación metrológica y controlar los registros generados.

### **3.6. Implementación de procedimientos de trabajo**

La realización de los servicios de ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas es en función a procedimientos, establecidos y aceptados. Estos procedimientos son los documentos en los que se detalla la forma en que se desarrollarán los ensayos y actividades para conseguir los objetivos de calidad que se ha propuesto, en este apartado se detallarán los procedimientos requeridos.

#### **3.6.1 Procedimiento de radiografía.**

##### **1. Propósito.**

El objetivo de este procedimiento es el de establecer los requerimientos mínimos necesarios para la ejecución del método no destructivo de radiografía industrial mediante rayos gamma, cuando el código de construcción de referencia sea el ASME B&PVC Sec. V Art. 2 Radiographic examination.

##### **2. Alcance.**

Este procedimiento tiene el alcance de aplicación al examen radiográfico durante el examen de soldadores para su calificación, soldaduras en la construcción de líneas, fabricación, montaje y prefabricados de plantas de proceso, recipientes presurizados, etc., las que serán debidamente evaluadas de acuerdo al criterio de aceptación o rechazo que sea aplicable.

##### **3. Definiciones.**

Están contenidas en el ASTM E 1316 Standard terminology for nondestructive examinations [9] y ASME boiler and pressure vessel code B&PV, Sec. I, mandatory appendix [10].

##### **4. Documentos de Referencia.**

- ASME B&PV Sec. V Nondestructive examination. Ed. 2010 [11].

- ASTM E 747/04 Standard practice for design, manufacture and material grouping classification of wire image quality indicators (IQI) used for radiology [12].
- ASNT Recommended practice No. SNT-TC-1A Ed. 2006 [13].

##### **5. *Responsabilidades.***

Es responsabilidad de la gerencia general hacer cumplir lo establecido en este procedimiento y hacerlo implementar mediante la gerencia de calidad.

Es responsabilidad de los radiólogos nivel II y I certificados, que estarán a cargo de la ejecución del ensayo radiográfico, cumplir lo establecido en este procedimiento.

##### **6. *Requisitos de seguridad radiológica.***

Todo el personal involucrado en esta actividad, deberá cumplir con el procedimiento de seguridad radiológica. Será responsabilidad del nivel II y nivel I operador de radiografía por su propia seguridad radiológica e industrial y la del personal que pudiera encontrarse en las inmediaciones del lugar del ensayo, cumplir el procedimiento indicado y las recomendaciones vigentes del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Todo el personal involucrado en las tareas de radiografía, llevará dosímetro personal tipo lapicero y/o detector sonoro para registrar y controlar que no se sobrepasen los límites de radiación que pueden absorber tanto el personal como el público.

Los operadores que efectúen los ensayos radiográficos mediante la operación directa del equipo de gammagrafía, deberán poseer el certificado de

habilitación para el manejo de equipos con radioisótopos y fuentes de radiaciones ionizantes emitidos por el IPEN (Licencia individual).

## 7. *Procedimiento.*

*Revisión de Documentos.* Todo nivel II destinado a un grupo de trabajo que incluya la evaluación y generación de reportes, debe tener conocimiento de los procedimientos escritos, así como de revisar si estos están completos antes de salir a una Obra.

*Ejecución.* Una vez que el nivel II tiene conocimiento de los procedimientos y documentos que avalarán su trabajo, deberá cumplir con lo establecido en este procedimiento.

*Actividades a Seguir.* De manera enunciativa más no limitativa, las actividades principales a seguir para la inspección radiográfica son:

- Actividades de campo mediante la exposición de las películas, que será realizado por un radiólogo nivel I ó nivel II y puede hacerlo con un asistente de nivel I o Ayudante.
- Actividades en laboratorio o cuarto oscuro mediante el procesado de las películas expuestas, que será realizado por un radiólogo nivel I ó nivel II.
- Actividad en área seca y con iluminación tenue e indirecta para evaluación de las películas e imágenes radiográficas para la emisión del informe de inspección radiográfica según el criterio de aceptación o rechazo aplicable de acuerdo al código de construcción seleccionado en forma específica, que será realizado por un radiólogo certificado nivel II.

## **8. *Materiales y equipos.***

### **a) *Fuente de radiación.***

Como fuente de radiación para la exposición de la película se utilizará una fuente de radiación gamma de Ir-192 (máx. 120 Curies), la cual debe adjuntar certificado del fabricante con carta de decaimiento y tamaño focal. Adicionalmente se usará un equipo de lanzamiento a control manual de telemando.

### **b) *Películas.***

Las películas deberán ser específicas para ser usadas en radiografía industrial, según ASTM E1815 [14] grupo I (ejemplo: para el caso de agfa le corresponden D3,D4 y D5 y de kodak /200, MX 125).

### **c) *Pantallas reforzadoras.***

Las pantallas de plomo deberán ser usadas para intensificación de la imagen en la película. Preferiblemente se utilizaran películas con pantalla de plomo integrales colocadas por el fabricante. También es posible emplear pantallas de Pb frontal y posterior de diversos espesores que permitan obtener una calidad de imagen aceptable al código.

## **9. *Identificación, leyendas y marcas de Pb en las películas.***

En cada radiografía con imagen formada con caracteres de plomo debe de quedar registrado lo siguiente:

Siglas de la firma examinadora, siglas del constructor, número de isométrico, diámetro de junta, espesor de junta, espacio para ubicación del ICI, número de junta, fecha.

#### **10. Marcadores de localización en la película (Fig. T-275 del Art.2).**

Los marcadores de localización aparecerán en las películas de la siguiente manera: En tuberías menores a 3.5 pulgadas de diámetro exterior, dos letras A y B demarcarán las vistas a 90° que se proyectarán para garantizar la exactitud del giro y proyección de la zona radiográfica a evaluar para cubrir el 100% de la soldadura (Técnica DW/DI proyectada) o mediante tres números 0,1 y 2 distanciados 60° sexagesimales de arco de la circunferencia en tres exposiciones (Técnica DW/DI superpuesta), este último caso es aplicable donde solamente no sea práctico por razones constructivas las exposiciones a 90°. El área efectiva de evaluación será siempre la proyección lineal central de la imagen en una longitud equivalente a 0.7 veces D.

Para tuberías de diámetros mayores a 3.5 pulgadas de diámetro exterior (DW/SI o SW/SI), se elaborará una cinta con números de plomo que mida las coordenadas longitudinales de la soldadura desde un cero marcado sobre la misma soldadura debidamente espaciados entre si en pulgadas o en centímetros.

Preferiblemente se tomará como cero para esta referencia el inicio de la fabricación de la soldadura y la progresión será en el sentido horario tomando como vista adelante el sentido del flujo, o el que indique el inspector de soldadura.

Cualquier medio para evitar la radiación dispersa puede ser empleado cuando sea necesario. Para verificar dicha radiación, cada chasis de película tendrá adherida en su exterior en el lado posterior una letra de plomo "B" de dimensiones 1/16" espesor y 1/2" de altura. Si la imagen de la letra "B"

aparece en la radiografía (imagen blanca), se hace evidente una excesiva retro - dispersión y una nueva película deberá ser expuesta con la adecuada protección. Una imagen oscura de la letra "B" no es causa de rechazo de la película.

Se añadirá marcas de Pb en forma de letra "I" en cada extremo de la longitud de la película radiográfica (según se trate de 3 o 4 películas por exposición a radiografiar), ubicadas sobre la cinta de números de Pb, para garantizar el traslape de las imágenes en las películas contiguas. Estas marcas delimitarán el área efectiva dentro de la cual se deberá efectuar la evaluación radiográfica.

#### ***11. Indicadores de calidad de imagen (Penetrómetros) (IQI).***

Los indicadores de calidad de imagen serán seleccionados según el procedimiento al que se refiera el código del constructor. Se emplearán los de tipo alambre.

Los indicadores de la calidad de imagen serán colocados preferiblemente del lado de la fuente; en el caso de que lo anterior no sea posible por razones prácticas, se les colocará en el lado película y se pondrá una letra "F".

#### ***12. Elementos para interpretación de las películas.***

##### ***a. Facilidades de iluminación para lectura de películas.***

Para observar la película se utilizarán equipos llamados usualmente negatoscopios, estos deberán tener un reóstato para poder variar la iluminación incidente en la película y poder leer densidades ópticas de hasta 4.0 H&D unidades. Se debe evitar cualquier luz que genere reflejos sobre la radiografía y se deberá añadir una luz indirecta tenue, evitando la completa oscuridad.

***b. Densitómetro y tirilla de calibración de densidades.***

Solamente se empleará sea un densitómetro calibrado (por una vigencia máxima de 90 días o cuando haya sospecha de alguna falsa lectura) ó una tirilla comparadora de densidades para establecer la densidad de la película obtenida. De requerirse lecturas con error de las centésimas se requerirá de un densitómetro.

***c. Laboratorio para el procesado de las películas.***

El laboratorio para el procesado manual deberá ser un cuarto oscuro que debe constar de lo siguiente:

- Aire acondicionado con la capacidad suficiente para mantener la temperatura de las soluciones químicas alrededor de 20°C, temperaturas mayores son factores de influencia del contraste y definición en la calidad radiográfica.
- Luz de seguridad (con filtro) de rango 15W a 25W y distancias que no produzcan velo adicional a las imágenes radiográficos después de proceso de revelado.
- Tanques para procesamiento de películas de acero inoxidable u otro material que no reaccione químicamente con los líquidos revelador y fijador. La temperatura de los baños de químicos deberán ser siempre verificados para mantenerse a la temperatura óptima recomendable de 20°C, ya que el tiempo de procesado en el químico revelador depende de dicha temperatura.

- Accesorios auxiliares para el revelado pueden ser: Calentador para las soluciones de los diferentes químicos, termómetro, cronómetro, pinzas y colgadores para el secado de las películas.

### ***13. Requerimientos del ensayo radiográfico.***

Los siguientes párrafos describen los requerimientos generales para las inspecciones radiográficas en soldaduras a tope de configuración geométrica en simple V, doble V o la que el constructor/cliente especifique, no son aplicables para juntas angulares.

### ***14. Preparación de superficies de soldadura.***

La inspección radiográfica se realizará después de la inspección visual realizada por el inspector de soldadura (constructor/cliente) el que dejará en la tubería la identificación de la junta y la autorización para radiografiarla.

La superficie acabada del refuerzo de soldadura se recomienda que posea una altura uniforme, con una altura máxima sobre el nivel del metal base que indica el código de construcción. Toda salpicadura de soldadura es recomendable se solicite sea removida previa a la radiografía. Si hubiese anillo de refuerzo de raíz no necesitarán ser removidos siempre que no interfieran con la interpretación de las radiografías.

### ***15. Calidad de las radiografías.***

Las radiografías deberán ser ejecutadas con una técnica de suficiente sensibilidad para demostrar los marcadores de identificación, traslape entre radiografías contiguas, delimitación e identificación del IQI (penetrámetro) alambre esencial visible, todos estos son indicadores esenciales de la calidad de la imagen radiográfica.

Todas las radiografías deberán estar libres de defectos mecánicos, químicos u otro de proceso que pudieran interferir con la interpretación apropiada de la radiografía.

La sensibilidad del alambre requerido deberá ser el que indican la tabla T-276 y tabla T-1 del ASME sec. V Art. 2 (tabla 3.2 – 3.3). La tabla 3.2, indica en la primera columna el rango de espesores de materiales, un segundo grupo indica valores cuando el uso del IQI sea de lado fuente, y el tercer grupo son valores cuando se usen IQI por el lado película, Ejm. Si se desea inspeccionar una tubería de Ø nominal 10 pulgadas SCH 40, el espesor es 9.27mm. Teniendo en cuenta este valor buscamos en la primera columna de la tabla 3.2, ubicamos el rango e intersectamos con la última columna del grupo uno, para el uso de IQI por el lado fuente, entonces el tipo de hilo esencial que debemos ver luego del procesado radiográfico es el sexto hilo.

**Tabla 3.2:  
Selección del Indicador de Calidad**

**TABLE T-276  
IQI SELECTION**

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Nota: Fuente: ASME SECTION V- ARTICLE 2, edición 2010.

La tabla 3.3 nos indica a que grupo de IQI pertenece el tipo de hilo esencial obtenido, para el caso indicado el hilo esencial fue 6, entonces puede usarse el grupo A o el grupo B, en este caso prima el criterio del inspector, generalmente usando el del grupo B.

**Tabla 3.3:**  
**Designación del IQI tipo alambre**

**TABLE 1**  
**WIRE IQI SIZES AND WIRE IDENTITY NUMBERS**

SET A		SET B	
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity
0.0032 (0.08) <sup>A</sup>	1	0.010 (0.25)	6
0.004 (0.1)	2	0.013 (0.33)	7
0.005 (0.13)	3	0.016 (0.4)	8
0.0063 (0.16)	4	0.020 (0.51)	9
0.008 (0.2)	5	0.025 (0.64)	10
0.010 (0.25)	6	0.032 (0.81)	11

SET C		SET D	
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity
0.032 (0.81)	11	0.10 (2.5)	16
0.040 (1.02)	12	0.126 (3.2)	17
0.050 (1.27)	13	0.160 (4.06)	18
0.063 (1.6)	14	0.20 (5.1)	19
0.080 (2.03)	15	0.25 (6.4)	20
0.100 (2.5)	16	0.32 (8)	21

<sup>A</sup>The 0.0032 wire may be used to establish a special quality level as agreed upon between the purchaser and the supplier.

Nota: Fuente: ASME SECTION V- ARTICLE 2, edición 2010.

- a) **Limitaciones de densidad.** La densidad de película transmitida a través de la imagen radiográfica del penetrámetro de alambre adyacente y el área de interés deberán ser como mínimo 2.0 H&D y 4.0 H&D como máximo, para simple película.

La variación máxima de la densidad de cualquier área de interés a evaluar respecto de la densidad medida sobre el IQI deberá estar entre  $-15\%$  y  $+30\%$  de dicho valor.

b) **Localización del penetrómetro.** Para las técnicas de exposición DW/DI se colocará un solo penetrómetro en el centro de la imagen de la soldadura proyectada y en el lado fuente, de colocarse en el lado película, se colocará una letra "F" que indique el lado película.

Para las técnicas DW/SI se colocará un solo penetrómetro en el centro de la imagen de la soldadura proyectada y en el lado película.

En el caso de utilizarse la técnica panorámica para la exposición de la película, se utilizarán tres (03) penetrómetros ubicados con una separación de  $120^\circ$  entre ellos. El párrafo T-277 del ASME sec. V Art. 2 deberá cumplirse para efecto de cualquier otra variación o casos en ubicación de penetrómetros.

c) **Distancia objeto a película.** La distancia objeto a la película deberá ser lo mínimo posible y cuando sea práctico, la película deberá estar en contacto a la superficie del objeto a ser radiografiado.

d) **Distancia fuente película.** La distancia fuente película será lo suficientemente, como para proporcionar una penumbra lo más pequeña posible no mayor a  $0.020''$  (0.51 mm), indicado en la tabla T-274.2 del ASME sec. V Art. 2 (tabla 3.4).

**Tabla 3.4:**  
**Penumbra geométrica.**

**T-274.2 Geometric Unsharpness Limitations.** Recommended maximum values for geometric unsharpness are as follows:

Material Thickness, in. (mm)	$U_g$ Maximum, in. (mm)
Under 2 (50)	0.020 (0.51)
2 through 3 (50-75)	0.030 (0.76)
Over 3 through 4 (75-100)	0.040 (1.02)
Greater than 4 (100)	0.070 (1.78)

NOTE: Material thickness is the thickness on which the IQI is based.

Nota: Fuente: ASME SECTION V- ARTICLE 2, edición 2010.

e) **Penumbra geométrica.** La penumbra geométrica será determinada según la siguiente ecuación:

$$Ug = \frac{Fd}{D} \quad (3.1)$$

Dónde:

**F** = Tamaño efectivo de la fuente radiactiva. Este valor se puede obtener de la carta de exposición que suministra el fabricante. Para una fuente no colimada de forma cilíndrica, se obtiene calculando la longitud de su diagonal proyectada (Anexo III).

**D** = Distancia fuente – objeto a radiografiar: Desde la fuente de radiación (lado fuente) al lado objeto a ser radiografiado.

**d** = Espesor a ser radiografiado, o distancia objeto película, medida desde el lado objeto a la película, puede coincidir con el espesor del material si está en contacto con la película y objeto, o puede ser un diámetro, si se trata de una toma en proyección elíptica por ejemplo.

La penumbra geométrica no deberá sobrepasar el valor de 0.020" para espesores a radiografiar.

El tamaño focal será el indicado por el fabricante de la fuente radiactiva en la carta de decaimiento.

#### ***16. Longitud de las películas.***

En técnicas DW/DI y SW/SI de diámetros mayores a 4"NPS, la longitud de las películas deberá ser el que permita un traslape mínimo de 1.0" a cada lado en cada una de las placas y las marcas de Pb se observen en imágenes radiográficas contiguas para garantizar traslape. En técnicas DW/DI se emplearan 2 o 3 películas de longitudes adecuadas a la imagen proyectada y leyenda de identificación de junta soldada.

Las reparaciones serán expuestas con el mismo tamaño de película que se utiliza para la toma original (montándola sobre la misma área de la película originalmente expuesta) y utilizando la cantidad de películas que sea necesaria para cubrir completamente el sector donde se realizó la reparación, aún cuando esto signifique que se aumente una o dos películas más por la extensión de la reparación sobre la zona afectada.

#### ***17. Manipuleo de películas.***

El cargado y descargado de películas de su chasis para el procesado manual, deberá ser efectuado en bastidores o carretes limpios y secos sin vestigios de químicos secos. Todos los chasis y pantallas deberán permanecer limpios y libres de suciedad u otro motivo de defecto en la película. Las películas serán manipuladas solamente por sus filos con manos secas y limpias y se evitará todo trato brusco de las mismas.

### 18. Almacenamiento de las películas.

Películas no expuestas deben ser almacenadas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para evitar daños antes de su utilización, asimismo almacenadas en lo posible sobre sus bordes.

### 19. Técnicas radiográficas.

Se detallan a continuación las posibles técnicas aplicables a este procedimiento:

#### a) Exposición de pared simple – simple imagen (PS/SV).

Es la técnica que se debe aplicar siempre que sea posible y se puede utilizar para caños y planchas unidas a tope (figura 3.8).

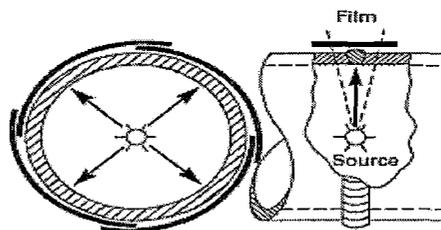
● Fuente de radiación



Figura 3.8. Exposición de pared simple– Simple imagen (En planchas)  
Fuente: Elaboración propia propia

#### b) Exposición de pared simple– simple imagen. (En tuberías, Panorámica).

Fuente interior a la tubería, al centro de la misma. Esto será usado con un adecuado accesorio que permita al tubo guía de salida ser centrado para una exposición panorámica a través del agujero en la tubería (figura 3.9).

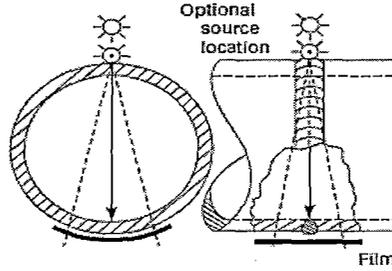


Exposure Arrangement — A

Figura 3.9. Exposición de pared simple– simple imagen. (En tuberías, panorámica)  
Fuente: ASME Sec. V, Artículo 2, single-wall radiographic techniques

c) *Exposición de pared doble – simple imagen (DW/SI).*

Fuente exterior a la tubería (figura 3.10).



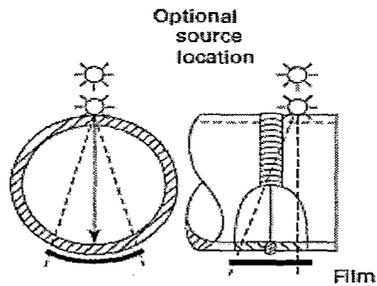
Exposure arrangement – D

**Figura 3.10. Exposición de pared doble – simple imagen (DW/SI)**

Fuente: ASME Sec. V, Artículo 2, single-wall radiographic techniques

d) *Exposición pared doble – simple imagen (DW/SI).*

Fuente exterior a la tubería, desfasada del eje de soldadura (figura 3.11).



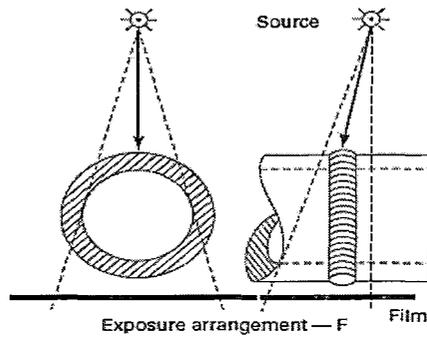
Exposure arrangement – E

**Figura 3.11. Exposición pared doble – simple imagen (DW/SI)**

Fuente: ASME Sec. V, Artículo 2, single-wall radiographic techniques

e) *Exposición pared doble – doble imagen (DW/DI) (Proyectada elíptica).*

Proyección exterior a la tubería desfasada del eje de soldadura. La distancia mínima será de 19 pulg. (Foco a película) y la abertura de la imagen entre 8 mm y 12 mm (figura 3.12).

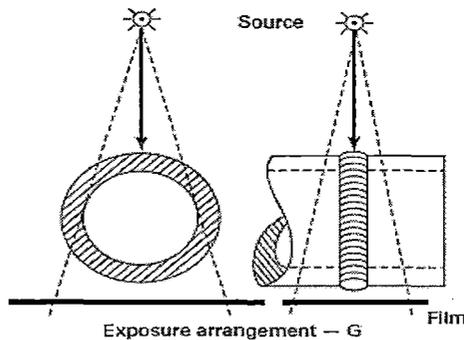


**Figura 3.12. Exposición pared doble – doble imagen (DW/DI) (Proyectada elíptica)**

Fuente: ASME Sec. V, Artículo 2, single-wall radiographic techniques

*f) Exposición pared doble – doble imagen (DW/DI) (Imagen Superpuesta).*

Tres exposiciones, dos de las cuales a un mín. de 60° de la primera (figura 3.13).



**Figura 3.13. Exposición pared doble – doble imagen (DW/DI) (Imagen Superpuesta)**

Fuente: ASME Sec. V, Artículo 2, single-wall radiographic techniques

**20. Registro.**

Para el registro como reporte de inspección se utilizará cualquiera de los registros de reporte radiográfica según acuerdo inspección/cliente u otro que sea solicitado por el cliente (Anexo IV) y deberán de contener como mínimo lo siguiente:

- Nombre o siglas simplificadas de la obra, constructor y cliente.

- Número de reporte
- Fecha de emisión de reporte
- Identificación de la junta, e isométrico (para su localización en planos)
- Diámetro nominal ó exterior.
- Espesor de metal base (espesor de soldadura).
- Estándar del criterio de aceptación y rechazo de soldadura.
- Número de procedimiento de radiografía.
- Tipo, número y sensibilidad obtenida de penetrámetro.(ICI)
- Tipo de película y marca.
- Tipo de fuente, tamaño focal, penumbra geométrica y distancia foco-lado fuente y distancia lado fuente-película.
- Actividad de la fuente de radiación.
- Tipo de pantallas.
- Indicaciones observadas y ubicación de las mismas.
- Nombre del evaluador, nivel y número de certificación SNT-TC-1A.
- Firma del evaluador y fecha.
- Representante autorizado del cliente, posición, firma y fecha.

### ***21. Criterios de aceptabilidad de soldaduras.***

Los criterios de aceptación de las soldaduras radiografiadas serán de acuerdo a lo que se indica en los procedimientos específicos de construcción o códigos de referencia de construcción tales como ASME B&PVC y ASME B31.3 (Anexo V y VI).

### 3.6.2 Procedimiento de Líquido Penetrante

#### 1. *Propósito.*

El propósito del presente procedimiento es establecer los requerimientos mínimos para el desempeño de la inspección de líquido penetrante del tipo visible y removible en solvente.

#### 2. *Alcance.*

Los requerimientos del presente procedimiento se aplican al personal que lleva a cabo inspecciones con líquido penetrante en el proyecto Las Bambas.

#### 3. *Referencias.*

- ASME B & PV sección V, Artículo 6 [11]
- ASTM E-165: Método de prueba estándar para evaluación de líquido penetrante [15]

#### 4. *Definiciones.*

Los siguientes términos de la sección ASME V, SE-1316 [9] se utilizan conjuntamente con el presente procedimiento:

Desangrado; limpieza; contaminante; contraste, desarrollador; tiempo de desarrollo; tiempo de secado; tiempo de morada; familia; penetrante; post-limpieza; pre limpieza; enjuague; removedor de solvente.

*Penetrante removible.* Un tipo de penetrante utilizado cuando se remueve el penetrante en exceso de la superficie de la parte mediante frotación utilizando un líquido no acuoso.

**5. Requisitos de Personal.**

El personal que lleva a cabo y/o que evalúa las ensayos de líquido penetrante en virtud del presente procedimiento se calificará y certificarán por lo menos al nivel II en PT según SNT-TC-1ª [13].

**6. Equipos, Materiales y Pre-requisitos.**

El término materiales penetrantes, tal como se usa en el presente procedimiento, tiene el propósito de incluir a todos penetrantes, solventes o de agentes limpieza, desarrolladores, etc., utilizados en los procesos de evaluación.

El líquido penetrante usado para la evaluación será conforme a los requerimientos de ASME SE-165 y se mencionan en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5:**  
**Familias de líquidos Penetrantes**

Fabricante	Limpiador / Removedor	Penetrante	Desarrollador
Magnaflux	SKC-S	SKL-SP1*	SKD-S2
Magnaflux	Agua**	SKL-WPS**	SKD-S2 o ZP-5B
Magnaflux	SKC-S	ZL-27A***	ZP-9F o SKD-S2

Nota: Fuente: ASME SE-165, Standard test method for liquid penetrant examination

\*SKL-SP1 no es lavable en agua

\*\*SKL-WPS2 es para utilizarse como penetrante lavable en agua que puede usarse con SKC-S en áreas más pequeñas (la etiqueta de la temperatura del agua se encuentra entre 50 y 100°F.

\*\*\*ZL-27A es un penetrante Post-Emulsionado que puede ser utilizado con SKC-S para áreas más pequeñas.

## **7. Método de Evaluación.**

El método de evaluación planteado en este procedimiento es mediante tinte penetrante visible, quiere decir que se utilizará un penetrante que puede verse en la luz visible.

### **a) Técnica.**

Se utilizará el proceso de penetrante del tipo solvente removible.

### **b) Temperatura.**

Como una técnica estándar, la temperatura del penetrante y de la superficie de la parte que se procesará no será menor de 40 F o encima de 125F. Se permite la refrigeración o calentamiento local siempre que la temperatura de la parte se mantenga dentro del rango de 40 F a 125 F durante la evaluación.

## **8. Procedimientos.**

### **a) Generalidades.**

El método de evaluación mediante líquido penetrante es un medio efectivo para la detección de discontinuidades, las cuales están abiertas a la superficie de metales no porosos u otros materiales. Las discontinuidades típicas detectables mediante este método son fisuras, costuras, vueltas, cierres fríos, laminaciones y porosidad.

### **b) Limpieza de la Superficie.**

Antes de cada evaluación con líquido penetrante, la superficie que se examinará, así como todas las áreas adyacentes dentro de por lo menos una (1) pulgada, se secarán y librarán de todo resto de polvo, grasa, pelusas, escamas, fundente de soldadura, salpicaduras de metal fundido, pintura,

aceite u otras materias extrañas que pudieran oscurecer las aberturas de la superficie o de alguna manera interferir con la evaluación.

Se puede utilizar agentes de limpieza típica como detergente, solvente orgánico, soluciones desoxidantes, removedores de pintura.

El método de limpieza empleado es una parte importante del proceso de evaluación.

***c) Secado y Limpieza.***

Después de limpiar, el secado de las superficies que se examinarán se llevará a cabo mediante la evaporación o con aire frío o caliente forzado. Se permitirá un mínimo de cinco (5) minutos para asegurarse que la solución de limpieza se ha evaporado antes de la aplicación del penetrante.

***d) Aplicación del Penetrante.***

El penetrante se puede aplicar mediante cualquier medio disponible, como buzamiento, cepillado o rociado.

***e) Tiempo (Permanencia) de Penetración.***

El tiempo de penetración (permanencia) es crítico. El tiempo de penetración mínima será según se requiera en la tabla 3.6 o según se califique mediante demostración para aplicaciones específicas.

**Tabla 3.6:**  
**Tiempos de Permanencia Mínimos**

RECOMMENDED MINIMUM DWELL TIMES				
Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times <sup>A</sup> (minutes)	
			Penetrant <sup>B</sup>	Developer <sup>C</sup>
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high-temperature alloys	castings and welds	cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5	10
	wrought materials – extrusions, forgings, plate	laps, cracks (all forms)	10	10
Carbide-tipped tools		lack of fusion, porosity, cracks	5	10
Plastic	all forms	cracks	5	10
Glass	all forms	cracks	5	10
Ceramic	all forms	cracks, porosity	5	10

Nota: Fuente: ASME SE-165, Standard test method for liquid penetrant examination

a. Para un rango de temperatura de 50 a 125°F.

b. Para temperaturas de 40°F a 50°F, el tiempo de permanencia mínimo del penetrante será de dos (2) veces el valor listado.

c. El tiempo de permanencia mínimo para SKL-WPS será de 10 minutos.

**f) Remoción del Penetrante en Exceso.**

Después de que el tiempo de penetración (permanencia) especificado ha culminado, se remover todo remanente de penetrantes sobre la superficie, teniendo cuidado de minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades.

El exceso de los penetrantes removibles solventes se remover mediante el frotamiento con un paño o papel absorbente, repetir la operación hasta que la mayor parte de trazas del penetrante se hayan removido. Las trazas remanentes se removerán al frotar ligeramente la superficie con un paño o con papel absorbente humedecido con solvente. Para minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades, se deberá tener cuidado para evitar el uso excesivo de solvente. Enjuagar la superficie con solvente,

luego de la aplicación del penetrante y antes de efectuar el desarrollo, queda prohibido.

**g) *Secado Después de la Remoción del Penetrante en Exceso.***

Se pueden secar las superficies mediante evaporación normal, transferencia por absorción, frotamiento o aire forzado. Se permitirá un mínimo de cinco (5) minutos y un máximo de veinte (20) minutos para asegurar el secado del agua de la superficie antes de la aplicación del desarrollador.

**h) *Desarrollo.***

El desarrollador (revelador) se aplicará a parte de la superficie en una capa uniforme. El espesor insuficiente del recubrimiento puede que saque al penetrante de las discontinuidades; de otro lado, un espesor de recubrimiento excesivo puede encubrir las indicaciones.

El tiempo de desarrollo para la interpretación final empieza inmediatamente después y tan pronto como la capa húmeda del desarrollador esté seca. El tiempo de desarrollo mínimo será de 10 minutos. El tiempo máximo de desarrollo permitido será de 60 minutos para los desarrolladores no acuosos. En caso de que el sangrado no altere los resultados de la evaluación, se permite períodos más extensos.

**i) *Interpretación.***

La interpretación final se efectuará dentro de los 10 a 60 minutos. Si la superficie que se examinará es lo suficientemente grande para excluir la evaluación completa con el tiempo prescrito o establecido, la evaluación se llevará a cabo con incrementos.

***j) Indicación de la(s) caracterización(es).***

Los tipos de discontinuidades son difíciles de evaluar si es que el penetrante se disemina excesivamente en el desarrollador. En caso de que esta condición ocurra, cierre la observación de la formación de la(s) indicación(es) durante la aplicación del desarrollador puede asistir en la caracterización y determinación de la extensión de la(s) indicación(es).

Con un penetrante de contraste de color, el desarrollador forma un recubrimiento blanco uniforme. Las discontinuidades de la superficie se indican mediante el sangrado del penetrante, el cual es normalmente un color rojo profundo que mancha el desarrollador. Las indicaciones con un color rosa claro pueden indicar una limpieza excesiva. La limpieza inadecuada deja un antecedente excesivo haciendo difícil la interpretación. Se requiere una intensidad de luz mínima de 1000 Lx sobre la superficie para examinar con el fin de asegurar la sensibilidad adecuada durante el reconocimiento y evaluación.

***k) Limpieza post-evaluación.***

Cuando se requiera una limpieza post-evaluación mediante el procedimiento, ésta se debe llevar a cabo tan pronto como sea práctico después de la evaluación y documentación haciendo uso de un proceso que no afecte adversamente la parte.

Utilizar el mismo método y materiales que se utilizaron para la pre-limpieza del área de evaluación.

## **9. Registros de Evaluación.**

Los resultados de las evaluaciones del líquido penetrante se registrarán en el reporte de prueba no destructiva (anexo VII), todos los artículos de evaluación se clasificarán como aceptables o inaceptables y se indicarán como tales en el formulario de reporte. Todas las indicaciones de inaceptable se marcarán en el artículo de evaluación.

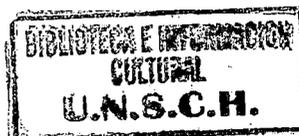
El técnico que lleva a cabo la evaluación será responsable para la interpretación de las indicaciones y se indicará de esta manera al colocar su firma en el reporte de evaluación.

Para cada evaluación, se deberá registrar en el reporte la siguiente información:

- Identificación del procedimiento y revisión
- Tipo de líquido penetrante (visible o fluorescente, húmero o seco),
- Tipo (número o designación de letra) de cada penetrante, removedor de penetrante, emulsionante y desarrollador utilizado;
- Identidad del personal de evaluación, nivel de calificación,
- Mapa o registro de las indicaciones,
- Material y espesor,
- Fecha de la evaluación

## **10. Evaluación.**

Se evaluarán todas las indicaciones en términos de estándares de aceptación de la sección del código al que hace referencia, según tabla 6.1 del AWS D1.1 - 2010 - Structural Welding Code - Steel (véase los Anexo VIII).



### **3.6.3 Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de partícula magnética para ASME sección V (sólo yugo)**

#### ***1. Propósito.***

El propósito de este procedimiento es establecer los requisitos mínimos para la inspección de partículas magnéticas utilizadas para la detección de discontinuidades superficiales en materiales ferromagnéticas.

#### ***2. Alcance.***

Los requerimientos del presente procedimiento se aplican a todo el personal que lleva a cabo inspecciones con partículas magnéticas en el proyecto Las Bambas.

#### ***3. Referencia.***

- ASTM E 709 guía estándar para prueba de partícula magnética
- ASME B & PV sección V, prueba no destructiva
- ASME B & PV sección VIII, división 1, reglas para la construcción de recipientes a presión
- ASME B31.1, tubería de potencia
- ASME B31.1, tubería de procesamiento
- API 650, tanques de acero soldado para almacenamiento de aceite
- API 653, inspección del tanque, reparación, alteración y reconstrucción
- API 1104, soldadura de ductos e instalaciones relacionadas
- AWS D1.1 ,código de soldadura estructural - acero
- AWS D1.5 , código de soldadura de puente

#### **4. Definiciones.**

Las definiciones se efectuarán en ASTM-1316, terminología estándar para evaluaciones no destructivas, podemos mencionar alguna de ellas:

**Método seco:** Inspección de la partícula magnética en la que las partículas electromagnéticas empleadas se encuentran en forma de polvo seco.

**Polvo Seco:** Partículas ferromagnéticas finamente divididas debidamente seleccionadas y preparadas para la inspección de partículas magnéticas.

**Técnica seca:** En evaluación de partícula magnética, la técnica de evaluación en la que las partículas ferromagnéticas se aplican en la forma de polvo seco.

**Método de evaluación fluorescente:** El método de evaluación de partícula magnética que emplea un medio de inspección ferromagnética fluorescente finamente dividida.

**Indicador de campo de partícula magnética:** Un instrumento, por lo general, un disco octogonal bi-metálicos (por ejemplo, acero al carbón y cobre), que contienen flujos artificiales utilizados para verificar la idoneidad o dirección o ambos, del campo magnetizante.

**Yugo:** Un imán que induce un campo magnético en el área de una parte que yace entre sus polos. Los yugos pueden ser imanes permanentes o electromagnetos de corriente alterna o directa.

**Magnetización del yugo:** Un campo magnético longitudinal inducido en una parte o en una área de una parte mediante un electromagnético externo de forma de yugo.

### **5. Requisitos de Personal.**

El personal que lleva a cabo el ensayo de partícula magnética en virtud del procedimiento estará calificado y certificado a, por lo menos, nivel II en MT según SNT-TC-1A.

### **6. Equipos, Material y Prerrequisitos.**

Se utilizarán los siguientes equipos:

- Yugos. Se pueden utilizar modelos de parker research, contour probe B-300 (AC only), DA-200 (AC/ pulsado DC), y unidades DA-400 (AC / pulsado DC) o equivalentes.
- Luces Negras. Se pueden utilizar modelo Spectroline SB100X y modelo Supertech B-510 o equivalentes.

### **7. Técnicas de magnetización.**

*Técnica de Yugo.* Funciona por medio de un electroimán apoyado en la pieza a inspeccionar.

### **8. Modos de magnetización.**

*Modo Continuo.* Método de ensayo en el que las partículas magnéticas son aplicadas y sus indicaciones se observan, mientras se aplica la fuerza magnetizante en la pieza a inspeccionar. Este será el método a aplicar.

*Modo Residual.* Es el método de ensayo que se realiza a partir del rociado de partícula magnética en el material a inspeccionar, sobre el que se ha aplicado con anterioridad la fuerza magnética.

### **9. Tipos de corriente.**

Las elecciones del tipo de corriente de magnetización, dependerá de la situación de las discontinuidades con respecto a la superficie de la pieza en particular, si son superficiales o sub-superficiales.

Se recomienda el empleo de corriente alterna (AC) únicamente para la detección de discontinuidades superficiales.

Se recomienda el empleo de corriente directa (CD) para la detección de discontinuidades superficiales y sub-superficiales.

No se permite el empleo de corriente alterna para la detección de discontinuidades sub-superficiales.

### **10. Medio de examinación.**

La distribución excelente de las partículas ferromagnéticas que forman las indicaciones y que permiten detectar las discontinuidades, es necesario conocer algunas de sus propiedades (tamaño, forma, densidad, movilidad y color entre otras) puesto que deben cumplir los siguientes requerimientos:

### **11. Tipos de partículas.**

Las partículas son tratadas para impartir color (pigmentos fluorescentes, no fluorescentes o ambos) con el objeto de hacerlos altamente visibles (contrastando) contra el fondo de la superficie examinada.

### **12. Partículas.**

Las partículas secas y húmedas, incluyendo los vehículos de suspensión de las partículas húmedas, y la concentración de las mismas debe estar de acuerdo a SE-709.

### **13. Limitaciones de temperatura.**

Serán usadas dentro del rango de temperatura establecido por el fabricante.

En nuestro caso usaremos las partículas húmedas hasta 52° C y las secas hasta 200°C.

### **14. Preparación de la superficie.**

Resultados satisfactorios son usualmente obtenidos con la superficie, en la condición tal como quedaron soldadas. Sin embargo preparación superficial por amolado o maquinado puede ser necesario donde las irregularidades superficiales podrían enmascarar discontinuidades.

Previo a la inspección por partículas magnéticas la superficie, así como las zonas adyacentes a la misma (al menos una pulgada), deben estar secas y limpias de grasa, polvo, óxidos, laminillas, salpicaduras, fundente de soldadura o materiales extraños que puedan interferir con la inspección.

La limpieza puede ser llevada a cabo usando detergentes, solventes orgánicos, removedores de pintura, vapor desengrasante o chorro de arena.

### **15. Técnica de inspección con yugo.**

#### **a) Aplicación.**

Este método debe ser aplicado sólo para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie.

#### **b) Procedimiento de magnetización.**

Para esta técnica, yugo electromagnético de corriente alterna será usado. Adecuando la abertura de los polos a la geometría de la pieza a inspeccionar.

**c) Dirección del campo magnético.**

*Adecuación del campo magnético.* El campo magnético aplicado debe tener suficiente potencia para producir indicaciones satisfactorias. Pero no debe ser tan fuerte que cause enmascaramiento de indicaciones relevantes por acumulación no relevante de partículas. Factores que afectan la fuerza del campo magnético incluyen el tamaño, forma y permeabilidad magnética de la parte; la técnica de magnetización; recubrimientos; el método de aplicación de partículas; el tipo y la ubicación de las discontinuidades a ser detectadas. Cuando sea necesario verificar la adecuación de la potencia del campo magnético, este debe ser verificado utilizando el siguiente método:

*Indicador de campo de partículas magnéticas tipo pastel (Pie-shaped):* El indicador será posicionado en la superficie a ser examinada de tal forma que el lado que presenta la placa de cobre este más alejada de la superficie inspeccionada.

Un campo fuerte apropiado es indicado por la presencia de una línea claramente definida (o líneas) de partículas magnéticas se forman claramente a través de la placa de cobre del indicador, cuando las partículas magnéticas son aplicadas simultáneamente con la fuerza magnetizante, Cuando no se forma una línea claramente definida de partículas, la técnica magnetizante debe ser corregida de un modo apropiado. Este tipo de indicadores son mejor usados con el procedimiento de partículas secas.

***d) Requisitos generales.***

Se utilizan partículas magnéticas secas y húmedas, según el método de magnetización a desarrollar. Las partículas magnéticas que se utilicen, tendrá que proporcionar un buen contraste con la superficie de la pieza a inspeccionar.

Las partículas magnéticas deberán poseer alta permeabilidad y baja retentividad magnética, así como dimensiones y formas adecuadas para la rápida localización de las discontinuidades en la pieza a inspeccionar.

Cuando se utiliza el ensayo con partículas en suspensión, la temperatura de la suspensión o de la superficie a inspeccionar no debe ser mayor o superior a los 60° C. o lo que indique el fabricante.

Cuando se utilice el ensayo con partículas secas la temperatura en la superficie a inspeccionar no debe ser superior a 200° C. o lo que indique el fabricante.

***e) Examinación.***

***1. Inspección preliminar.***

Antes de que el ensayo por partículas magnéticas sea conducida.

Una inspección visual debe ser realizada para localizar cualquier discontinuidad abierta a la superficie la cual puede no atraer y mantener las partículas magnéticas debido a su ancho.

***2. Dirección de la magnetización.***

Al menos dos magnetizaciones deben ser realizadas en cada área.

Durante la segunda, las líneas de flujo magnético deben ser

aproximadamente perpendiculares a aquellas usadas durante la primera magnetización. Una diferente técnica de magnetización puede ser usada para la segunda examinación.

### 3. *Métodos de examinación.*

Las partículas ferromagnéticas usadas pueden ser ya sea, secas o húmedas visibles no fluorescentes. La examinación debe ser hecha por el método continuo.

*a) Partículas secas.* Las partículas que se aplican en forma de polvo seco son mezclas de diversos tamaños, en proporciones cuidadosamente elegidas; las partículas pequeñas dan sensibilidad al método, las mas grande mejoran la formación de la indicación y contrarrestan la tendencia de las partículas finas a producir falsas indicaciones, deben ser aplicadas de tal forma que una capa uniforme y delgada cubra la superficie de la pieza que esta siendo inspeccionada.

La corriente magnetizante debe permanecer mientras las partículas sean aplicadas y mientras cualquier exceso es removido.

*b) Partículas húmedas.* En este caso, las partículas magnéticas se aplican desde un envase rociador tipo aerosol en suspensión, estas pueden aplicarse antes y/o después que la corriente es aplicada.

#### **4. Cobertura del ensayo.**

Todo ensayo debe ser conducido con un apropiado traslape de campo magnético para asegurar el 100% de cobertura con la sensibilidad requerida.

#### **5. Remoción del exceso de partículas.**

Acumulaciones de exceso de partículas secas durante la examinación deben ser removidas con una corriente ligera de aire desde una bombilla o una jeringa u otra fuente de aire seco de baja presión. La corriente de magnetización debe ser mantenida mientras se remueve el exceso de partículas.

#### **16. Interpretación.**

La interpretación debe identificar si una indicación es falsa, no relevante o relevante. Debe quedar probado que las indicaciones falsas y no relevantes son tales sin lugar a duda, en la interpretación se deberá identificar la ubicación y el carácter de la indicación.

##### **a) Partículas magnéticas visibles (contraste de color).**

La selección del color de las partículas tanto para vía seca como en suspensión, depende exclusivamente del color y del acabado de la superficie sobre la que vayan a ser aplicadas; a fin de que pueda haber un buen contraste entre las partículas magnéticas y la superficie de la pieza. Por esta razón, se fabrican partículas pigmentadas con diversos colores, sin que la capa de colorante afecte decisivamente sus características magnéticas, existe una amplia gama de colores (grises, blancas, negras, amarillas y rosas).

**17. *Des magnetización.***

Cuando el magnetismo residual en la parte inspeccionada interfiere con los subsecuentes procesos o usos de la misma, la parte deberá ser desmagnetizada en cualquier momento después de culminar la inspección.

**18. *Limpieza posterior.***

Cuando sea requerido esta debería ser conducida de una manera tan práctica usando un proceso que no afecte adversamente la parte, puede emplearse flujo de aire, libre de aceite o empleando un solvente y frotando con un material absorbente.

**19. *Evaluación de las indicaciones.***

Todas las indicaciones deben ser evaluadas en términos de los estándares de aceptación del código ASME B 31.3, tabla 341.3.2 (anexo V).

Las discontinuidades en la superficie, son detectadas por la acumulación de las partículas; sin embargo las irregularidades de la superficie localizadas tales como: Marcas de maquinado, golpes, rugosidades, etc., pueden ocasionar indicaciones falsas.

Áreas amplias de acumulación de partículas, las cuales puedan enmascarar las indicaciones verdaderas son prohibidas y tales áreas que presenten este problema deben limpiarse y volver a ser examinadas.

Se tomara en cuenta el tamaño de las indicaciones obtenidas por la acumulación del polvo seco o de las partículas en suspensión, aun cuando estas pueden ser más grandes que la imperfección que la causa. Es decir

la evaluación será efectuada por dimensionamiento directo de las indicaciones obtenidas.

**20. Registro de evaluación.**

Los resultados de las evaluaciones de partículas magnéticas se registrarán en un reporte de prueba no destructiva (anexo IX).

Indicaciones no rechazables. Estas indicaciones deben ser registradas como se especifique en el código de referencia.

Indicaciones rechazables, Las indicaciones rechazables deben ser registradas.

Como mínimo el tipo de indicación (lineal o redondeada), su localización y extensión (longitud o diámetro o alineamiento) debe ser registrado.

El reporte de cada examinación efectuada, debe incluir al menos la siguiente información:

- a) Identificación y revisión del procedimiento
- b) Cliente y proyecto
- c) Nombre del inspector que realizó la inspección
- d) Equipo de partículas magnéticas y el tipo de corriente magnetizante.
- e) Partículas magnéticas (húmedas visibles o secas).
- f) Identificación de junta y código de soldador.
- g) Registro de indicaciones
- h) Material y espesor
- i) Condiciones superficiales.
- j) Fecha de ejecución del ensayo.

### **3.6.4 Procedimiento de prueba no destructiva usando el método de ultrasonido tipo pulso eco**

#### **1. Propósito.**

Definir los parámetros técnicos para llevar a cabo la inspección con ultrasonido industrial del tipo pulso-eco y de contacto directo, a sistemas de soldaduras de tuberías y en instalaciones en el proyecto Las Bambas.

#### **2. Alcance.**

A todo el personal que desarrollará la inspección por ultrasonido de todos los elementos y accesorios en tuberías de las diferentes instalaciones en el proyecto Las Bambas. Aplica a soldaduras a tope con espesores de 0.250” hasta 8.0”.

#### **3. Referencias.**

- ASME B&PV Sec. V Nondestructive Examination. Ed. 2010 [11].
- ASTM E 317–94 Standard Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse [17].
- ASME Section VIII. Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels, Echo Testing Systems Without the Use of Electronic Measurement Instruments. Edition 2010 [18].

#### **4. Definiciones.**

*Acoplante.* Sustancia usada entre el palpador y la superficie de prueba para permitir o incrementar la transmisión de la energía ultrasónica.

*Block de Referencia.* Un block que es empleado como una escala de medida y como un medio de proporcionar reflexiones ultrasónicas con características conocidas.

*Eco.* Indicación de una energía reflejada.

*Método Pulso Eco.* Método de inspección en el cual la presencia y posición de un reflector indican el tiempo y la amplitud del eco.

*Palpador.* Dispositivo electro-acústico usado para transmitir o recibir energía ultrasónica, o ambos. El dispositivo generalmente consiste de una placa, conector, carcasa, respaldo, elemento piezo-eléctrico, fase protectora, o cristal, o zapata. *Reflector.* Interface con la cual un equipo de ultrasonido detecta un cambio en la impedancia acústica y el mínimo de energía reflejada por un objeto.

*Transductor.* Dispositivo electro-acústico para convertir energía eléctrica en energía acústica y viceversa.

#### **5. Requisitos de Personal.**

El personal que realice la inspección ultrasónica debe estar calificado y certificado como Nivel II en el método de ultrasonido industrial, de acuerdo con los requisitos establecidos en la Práctica Recomendada No. SNT-TC-1A, emitida por la ASNT o entidad equivalente.

#### **6. Equipos y Materiales.**

**a) Equipo de Ultrasonido Detector de Fallas EPOCH 1000.** El equipo de ultrasonido para la detección de fallas debe tener las siguientes características:

- Pantalla con presentación en "barrido tipo A ó B"
- Rango seleccionable en pasos fijos o continuamente variables, velocidad ajustable.
- Control de ganancia de 0 a 100 dB con pasos seleccionables de por lo menos 0.5 dB a 6 dB.

- Modo de prueba pulso-eco y doble elemento, compuerta controlable a lo largo de toda la gama de barrido con alarma audible y/o visual y segundo umbral de inicio separados en el modo de medición multi-eco.
- Memoria para almacenar lecturas de espesores y formas de onda, interface y software para computadora.

**b) Transductores.**

Se deben emplear transductores de doble cristal, haz recto y haz angular.

**Tamaño.**

Los tamaños recomendados de transductores son: desde 1/4 de pulgada (6.4 mm) de diámetro a 1 pulgada (25.4 mm) de diámetro. En general, se debe seleccionar el diámetro del elemento transductor adecuado que permita un acoplamiento 100% de un área de contacto con la superficie de inspección.

**Para haz angular.** Deben emplearse transductores con ángulos de refracción de 45° y 60°; el rango de frecuencia nominal es de 2.0 MHz a 5.0 MHz. Estos transductores serán empleados para barridos en cordones de soldadura.

**Para haz longitudinal.** Se pueden emplear transductores con superficie de contacto plana ó cóncava; el rango de frecuencia nominal es de 3.5 MHz a 10.0 MHz. Estos transductores serán empleados para medir espesores con discriminación de pintura y

para barridos en el metal base adyacente a cordones de soldadura previo a la inspección con haz angular.

**c) Acoplante.**

Se empleará acoplante magnaflux.

**d) Bloques de Calibración.**

Se deberán emplear bloques de calibración de velocidad conocida o del mismo material a ser inspeccionado.

*Para transductores de Haz Angular.* Para la calibración en distancia se puede utilizar el bloque IIW tipo 1 ó 2, ó también se pueden utilizar los bloques complementarios, DSC y el angular miniatura (M.A.B.). Para el ajuste de sensibilidad se empleará el bloque básico de calibración tipo ASME.

*Para transductores de Haz Longitudinal.* Para la calibración en distancia se emplearán los mismos bloques indicados arriba, adicionalmente se pueden utilizar bloques de 4 ó 5 pasos. Para el ajuste de sensibilidad se utilizará una zona de la pieza a inspeccionar que se encuentre libre de indicaciones de discontinuidad, cuando se vaya a evaluar la zona de barrido para haz angular.

**7. Calibración y verificación.**

***Linealidad Vertical.***

El instrumento ultrasónico debe tener una linealidad vertical dentro de  $\pm 5\%$  de la altura total de la pantalla, al menos dentro del 20% al 80% de altura de la pantalla calibrada (desde la línea de tiempo base a un punto máximo de la pantalla calibrada).

### ***Linealidad del Control de Amplitud.***

El instrumento ultrasónico debe tener una linealidad del control de amplitud de +20% de su rango útil, con relación a la amplitud nominal, para permitir la medición de indicaciones más allá del rango lineal de la presentación vertical de la pantalla.

### ***Verificación y Calibración.***

La linealidad de la altura de la pantalla y la linealidad del control de amplitud deben verificarse y evaluarse de acuerdo con ASTM E-317. La verificación y evaluación de la linealidad vertical y de la linealidad del control de amplitud del instrumento ultrasónico, debe realizarse; al principio de cada período de uso intensivo, ó cada tres meses, lo que sea menor.

El funcionamiento adecuado del equipo de inspección debe ser verificado al principio y al final de cada inspección, cuando sea cambiado el personal y en cualquier momento que se sospeche un mal funcionamiento. Si durante cualquier verificación se determina que el equipo de prueba no está funcionando adecuadamente, todas las zonas que fueron inspeccionadas hasta la última calibración válida del equipo deben ser re-inspeccionadas.

## **8. Instrucciones.**

### ***a) Preparación de la superficie.***

***Metal Base.*** El metal base en cada lado de la soldadura debe estar libre de salpicaduras de soldadura, irregularidades de la superficie o de

material extraño que pudiera impedir el desplazamiento libre y continuo del transductor en la zona de barrido.

***Metal de la Soldadura.*** Donde la superficie de la soldadura interfiera con el examen, la soldadura deberá ser preparada, como sea requerido, para permitir la inspección.

La preparación de la superficie de barrido puede ser efectuada con chorro de arena a presión y/o cepillo de alambre. La superficie debe estar limpia y seca.

Cada soldadura seleccionada debe inspeccionarse en toda su circunferencia.

***b) Identificación.***

En caso de localizarse una indicación relevante, se procederá a realizar una inspección detallada para determinar el tipo, la posición y dimensiones de la discontinuidad. De confirmarse la existencia del defecto, sobre el cuerpo del elemento y a un costado de la soldadura deberá marcarse la extensión de la sección dañada, el número de identificación asignado al defecto, así como el nombre de la compañía y fecha de inspección, utilizando pintura indeleble y de color contrastante con el metal.

***c) Barrido para evaluar Sanidad.***

En caso de detectar un punto con una reducción del espesor de pared mayor al 18% del espesor nominal, deberá realizarse un barrido continuo, empleando un equipo detector de fallas, con haz recto o doble cristal, alrededor del punto, abarcando como mínimo un radio de 2.0" (50 mm).

Si existen lecturas que generen pérdida del reflejo de pared posterior o demasiado ruido, sean dudosas o de difícil interpretación, deberá procederse como se indica en el párrafo anterior y, además, alrededor del punto inspeccionado, dentro del radio de 2.0" (50 mm). Deberá realizarse un barrido continuo empleando un equipo detector de fallas para determinar el tipo y la zona que abarca la indicación.

De confirmarse la existencia de algún defecto, se procederá a realizar una inspección detallada del área para determinar con mayor precisión la posición (profundidad), geometría y dimensiones (largo y ancho) de la anomalía.

***d) Desarrollo de la Inspección.***

Todas las condiciones de operación como son acabado superficial, frecuencia del transductor, calibración del sistema, tipo de transductor y acoplante empleado deben ser las mismas durante la calibración y la inspección.

***Inspección con Haz Longitudinal.*** Antes de la inspección de cordones de soldadura con haz angular, debe realizarse un barrido al 100% del metal base desde el borde de la soldadura hasta el límite lejano de la zona de barrido, para detectar reflectores que puedan afectar la interpretación de los resultados en la inspección por haz angular.

***Inspección con Haz Angular.*** La calibración en distancia de recorrido del haz debe ser seleccionada en base a la "Trayectoria en V" en la pieza a inspeccionar, preferentemente debe usarse la primera

y segunda pierna; el rango debe ser en múltiplos de 5. Ajustar al 80% de amplitud.

### **9. Evaluación.**

La evaluación será efectuada tomando como base el tipo de discontinuidad interpretada, tamaño equivalente o longitud y la amplitud de la indicación con respecto al nivel de referencia.

Todas las indicaciones que produzcan una respuesta mayor al 20% del nivel de referencia, deben ser investigadas, hasta donde sea posible, para determinar la localización, forma, extensión y tipo de reflector que la causa y debe ser evaluada de acuerdo con el criterio de aceptación Tabla 6.2. y 6.3, del código ANSI-AWS D1.1. 2010 (anexo X- XI).

### **10. Registro de evaluación.**

Los resultados de inspección deberán ser presentados en formatos de reporte (anexo XII) que contengan como mínimo la siguiente información:

- Información General:
- Fechas de inspección y de elaboración del reporte de inspección
- Nombre de la instalación, diámetro y espesor nominales del elemento
- Fecha de construcción y de inicio de operación de la instalación
- Nombre o identificación y ubicación del elemento inspeccionado
- Nombres, niveles y firmas del inspector, y de quien elabora, revisa y aprueba el reporte

### **3.7. Implementación de medidas de seguridad y gestión ambiental**

Uno de los aspectos primordiales durante el desarrollo de las actividades, es la seguridad, por ello el objetivo es garantizar la seguridad y salud de los trabajadores en todos los procesos administrativos y operativos, con una mejora continua en la eficacia del sistema de gestión, mediante el cumplimiento de los requisitos especificados por las normas.

#### **3.7.1. Seguridad y salud ocupacional**

Con el propósito de lograr preservar la vida y salud de los trabajadores, se han identificado los principales peligros a los que se encuentran sujetos en las actividades de ensayos no destructivos, se ha desarrollado una matriz de evaluación de peligros y control de riesgos (tabla 3.7) en base a las directrices corporativas del cliente y sus procedimientos estructurales del sistema de seguridad y salud ocupacional, en esta matriz se detalla la identificación de los peligros y se establece las medidas de control a fin de minimizar los riesgos.

El personal que interactúe con sustancias químicas o radiactivas debe seguir capacitaciones específicas para manipulación de dichas sustancias.

Todo personal nuevo que ingrese a trabajar deberá de contar con su examen pre-ocupacional.

Es necesario y obligatorio el uso de los equipos de protección personal (EPPs) asignados para la realización de cualquier tarea, tales como lentes de seguridad claros, Casco tipo jockey color blanco, barbiquejo, cortaviento, tapones auditivos según el nivel de ruido, calzado de seguridad con planta y puntera rígida, resistente al impacto y penetración, uniforme de faena

(pantalón, camisa y casaca con cintas reflectivas), chaleco naranja tipo geólogo con cintas reflectivas, guantes de nitrilo, protector solar con factor superior a 60, para trabajos en altura deberá usarse arnés de seguridad.

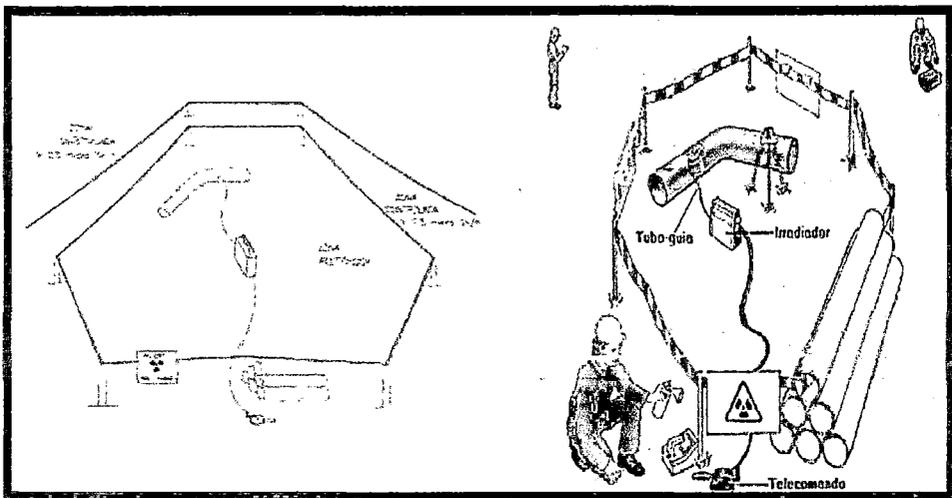
**Tabla 3.7:**  
**Matriz de evaluación de peligros y control de riesgos**

Nº	Método de ensayo	Peligro Detallado	Riesgo de Seguridad y Salud Ocupacional	Cargo de persona que realiza la actividad/tarea	RIESGO				CONTROL	
					SEVERIDAD	FRECUENCIA	RESULTADO	NIVEL DE RIESGO	MEDIO	RECEPTOR
1	Radigrafía Industrial	Radiación Ionizante	Enfermedades causadas por radiaciones ionizantes	Jefe de laboratorio, técnicos y ayudantes	1	C	4	AR	Aplicar procedimiento de uso de equipo de gammagrafía, señalización de advertencia, colocar vigías, Radio de aislamiento. Uso de Detector Geiger.	Personal capacitado, certificado y autorizado, uso de film dosimétrico personal.
2	Tintes Penetrantes	Sustancias Químicas	Enfermedades causadas por agentes químicos.	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME	Aplicar procedimiento de inspección por líquidos penetrantes, hojas MSDS, AST	Uso de EPP, Personal capacitado y entrenado. Extintores
			Intoxicación por inhalación e ingestión	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME		
3	Partículas Magnéticas	Sustancias Químicas	Enfermedades causadas por agentes químicos.	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME	Aplicar procedimiento de inspección por partículas magnéticas, hojas MSDS, extintores, instructivos	Entrenamiento y certificación de técnicos y ayudantes en ensayos no destructivos, uso adecuado de EPP's.
			Intoxicación por inhalación e ingestión	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME		
4	Ultrasonido	Sustancias Químicas	Enfermedades causadas por agentes químicos.	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME	Aplicar procedimiento de inspección por ultrasonido, hojas MSDS, extintores, instructivos	Entrenamiento y certificación de técnicos y ayudantes en Ensayos no destructivos, uso adecuado de EPP's.
			Intoxicación por inhalación e ingestión	Técnicos de laboratorio, ayudantes	3	C	13	ME		

### 3.7.2. Seguridad radiológica

Uno de los potenciales aspectos vinculados al servicio de ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas son los posibles incidentes por manejo de fuentes gammagráficas de iridio 192. En tal sentido, se ha implementado un plan de contingencia para la operación con fuente radioactiva de iridio 192. Ha sido diseñado para dar las pautas y una

planificación estratégica orientada a responder adecuadamente a situaciones de emergencia que puedan ocurrir durante el desarrollo de las actividades de toma de placas radiográficas de uniones soldadas con equipos gammagráficos cuya fuente radioactiva es iridio 192 (figura 3.14), realizadas por el personal de servicio de ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas.



**Figura 3.14. Exposición gammagráfica (toma de placas radiográficas) con fuente de Iridio 192.**

Fuente: Presentación – curso de radiografía industrial - IPEN

### **1. Propósito.**

Identificar las situaciones de emergencia durante la operación con equipos gammagráficos cuya fuente radioactiva es iridio 192, establecer los pasos a seguir durante un caso de Incidencia del tipo radiológico durante la operación con equipos gammagráficos para la ejecución de tomas radiográficas.

### **2. Alcance.**

3.El procedimiento abarca el caso eventual de accidente dentro de la zona donde se esté ejecutando la toma de placas radiográficas de uniones soldadas donde la fuente radioactiva es iridio 192.

Además este procedimiento abarca cualquier otro caso eventual de accidente durante la operación o manejo del equipo gammagráfico y accesorios de conexión para su accionamiento, empuje de salida y retroalimentación de retorno de fuente a su contenedor de almacenamiento de trabajo.

#### **4. Definiciones.**

a) *Una Emergencia.* Es un evento en donde se involucra lesiones a un empleado, contratista o al público en general. Esto incluye, pero no se limita, a daños mayores a las propiedades, incendio, explosión, o impacto significativo al medio ambiente que puedan atraer la atención de los medios de información locales y puedan ser reportados a alguna agencia gubernamental.

b) *Contingencia.* Evento no deseado que puede traducirse en una emergencia.

#### **5. Documentos de referencia.**

Reglamento de seguridad radiológica del IPEN.

#### **6. Metodología.**

##### ***Como actuar en caso de incidentes ó accidentes radiológicos.***

Si por cualquier motivo la fuente sale del contenedor o no regresa a él, un constante monitoreo hará que el operador se dé cuenta de esta situación, las acciones a seguir son las siguientes:

##### ***Tranquilizarse pensar y analizar la situación.***

Excluir y aislar el área de acuerdo con los recursos que se cuenten en este momento, como avisos de peligro, vehículo, antorchas, cintas etc. verificando con el monitor que la distancia a la cual se han colocado estas advertencias es la correcta.

Usted debe alejarse e impedir el acceso de personas al área donde los niveles de radiación están por encima de los  $7.5\mu\text{Sv}$ , conservando siempre la mayor distancia posible.

Si ha tomado estas medidas tiene tiempo suficiente para pensar de manera ágil y Localizar la posición de la fuente, determinando si esta se encuentra dentro del tubo de conducción, trabada, desenganchada o si esta fuera del tubo de conducción.

Buscar comunicación por algún medio sin abandonar la vigilancia de la fuente, ni sembrar pánico en las personas que se encuentren por la zona de lo ocurrido.

Si los procedimientos para la solución del problema requieren exposiciones no esperadas, repartir la dosis de exposición con los otros compañeros del grupo.

***Recomendaciones especiales de contingencia en caso de accidente radiológico en áreas urbanas ó pobladas.***

Adicionalmente a los puntos mencionados previamente, no debe olvidar:

Realizar un cálculo con las variables de tiempo, actividad, distancia para saber la dosis que hemos absorbido, hasta tener los resultados de nuestro dosímetro de película.

El responsable del frente involucrado en el accidente debe asignar a uno de sus colaboradores para que se desplace en forma inmediata a todos los centros poblados, solicitando la evacuación por una ruta segura y evitando una exposición de la población.

Siempre la prioridad de evacuación debe dársele a los niños y mujeres embarazadas.

De manera simultánea debe establecerse comunicación con las entidades de rescate ubicadas y designadas en el plan de contingencia de dicho frente, solicitando la presencia de grupos de ayuda.

***Ubicación de la fuente y análisis ante una situación de desenganche.***

La fuente esta enganchada pero no regresa al contenedor, las causas probables de esta situación pueden ser; el ducto guía de conducción esta doblado o estrangulado, la manija del telemando está dañada.

Blindar con las granallas de plomo la fuente sin estropear el tubo guía, desconectar el tubo guía y sacudirlo, inmediatamente vuélvalo ha enganchar tome la manivela del telemando y retraiga la fuente, una vez la fuente en posición segura realice una inspección al tubo guía para analizar la posible falla de este a su vez que diagnostique su estado actual para ser reparado o retirar de uso.

Si la falla es por el telemando, desconectar este y jalar la fuente del cable visible, una vez que la fuente este dentro del contenedor asegurar y valorar el daño para reparar o suspender la utilización de este.

***Cuando la fuente esta desenganchada dentro del ducto de conducción (tubo guía).***

Blindar la zona y cubrir el tubo guía, usted tiene las condiciones en contra.

Asegurar el proyector, desconectar el ducto de salida de conducción, y tratar en lo posible el uso de las telepinzas. Con la telepinza tomar el tubo guía por

la parte focal y sacudir este con la rosca siempre hacia abajo, al salir la fuente retirarse y analizar la situación, recordar que su mejor aliado es el tiempo.

Con las pinzas tomar la fuente e introducirla en el contenedor de recuperación, el enganche de la fuente deberá quedar hacia afuera. (Recuerde que el contenedor de emergencia no es un contenedor de transporte y deberá ser utilizado sólo en forma transitoria para la recuperación de una fuente).

### **3.7.3. Gestión ambiental**

En el proyecto Las Bambas se considera que la protección al medio ambiente es de fundamental importancia, por lo que todas las labores que desarrolla Bureau Veritas tanto en sus laboratorios de ensayo y análisis como en sus servicios externos en terreno, los ejecutará teniendo presente la disposición final segura de cualquier tipo de residuos que se genere producto de sus actividades. También existe una preocupación por mantener bajo control todos aquellos trabajos con sustancias tóxicas que accidentalmente pudieran dañar el medio ambiente como suelo, aire y agua.

Para cumplir con los objetivos de preservación, Bureau Veritas, se preocupa de instruir a su personal tanto en la gestión de residuos como en la legislación vigente que aplica a las actividades que realiza.

Antes que cualquier trabajo en obra comience, las áreas del lugar de trabajo las cuales son potencialmente sensibles ambientalmente (Ejemplo: pantano, cenagal, estanques, hábitats de fauna fácilmente observable), serán identificados por el Supervisor de Medio Ambiente conjuntamente con el encargado de Medio Ambiente del cliente. Los planes apropiados (incluyendo las funciones civiles designadas) serán hechos para asegurar que estas áreas

no están expuestas a algún peligro inmediato a través de ubicación inadvertida de lugares de almacenamiento, lugares de transferencia de combustible, áreas organizadas, etc.

### **Manejo de residuos de laboratorio**

Los productos requeridos para la aplicación de los ensayos no destructivos deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos antes de ser comprados, transportados, enviados, almacenados y utilizados:

- Contar con la hoja MSDS en español, la cual deberá seguir la norma ANSI Z400.1 y deberá contener la siguiente información:
- Identificación del Material o Químico Peligroso: Nombre, dirección y teléfonos de emergencias del fabricante.
- Ingredientes peligrosos; identificación química.
- Potencial de fuego y explosión.
- Primeros auxilios y tratamiento debido a intoxicación. Los datos de peligros a la salud, incluyendo los límites de exposición y síntomas; caminos crítico hacia el cuerpo.
- Medidas en caso de incendio y derrames.
- Almacenamiento y uso seguro.
- Límites de exposición y equipo de protección personal requeridos.
- Propiedades físicas y químicas.
- Datos de Estabilidad y Reactividad.
- Información toxicológica, ecológica, y residuos peligrosos y prácticas de desecho.

- Requerimientos de Transporte, normas aplicables e información adicional.

Se tendrá un control de los productos químicos y las hojas MSDS emitida por el proveedor en idioma español.

#### **Manejo de efluentes**

Las aguas servidas residuales producto del revelado de películas radiográficas serán entregadas a una empresa del rubro de la gestión ambiental quien se encargara por el tratamiento y/o disposición final.

#### **Manejo de residuos sólidos**

En las áreas de trabajo y de campamento se colocarán contenedores de residuos sólidos, identificados con diferentes colores. Estos contenedores tendrán bolsas de plástico que permitirán el embolsado de los residuos en su punto de generación. Los residuos serán transportados periódicamente en camiones especialmente habilitados por la empresa dedicada al rubro de gestión de residuos, DISAL, quien será responsable del tratamiento y/o disposición final.

### 3.8 Programa de trabajo

#### 3.8.1. Plan de inspección.

Con la finalidad de tener claro las inspecciones a realizar, se ha plasmado un plan para las inspecciones de ensayos no destructivos (tabla 3.8). El programa de ensayos no destructivos previsto incluye, en consecuencia, los diferentes métodos de ensayo, las cuales serán ejecutadas bajo los requerimientos del proyecto.

Para la realización de los ensayos se requieren una orden de inspección bajo la técnica específica, dependiendo de los elementos a inspeccionar, pudiendo ser tuberías o estructuras. La secuencia de la ejecución de los ensayos cumple lo establecido en el flujograma de servicio (anexo II).

**Tabla 3.8:**  
**Plan de inspección de ensayos no destructivos**

PLAN DE INSPECCIÓN DE ENSAYO NO DESTRUCTIVOS							
Orden	Técnica	Normas	Procedimiento	Requisitos	Reporte	Personal	Responsable
1	Gammaografía Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASME Section V, Artículo 2</li> <li>ASME B31.3</li> <li>API 1104</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nondestructive Examination Standard Radiography Examination RT-ASME</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de los procedimientos END autorizados, normas, especificaciones o códigos aplicables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de inspección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Según requerimiento del cliente (BECHTEL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Laboratorio</li> <li>Especialista en prevención de riesgo</li> <li>Técnicos nivel II</li> <li>Gerente de Calidad</li> </ul>
2	Líquido penetrantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>D1.1/AWS D1.1</li> <li>ASME 165</li> <li>ASTM E1417</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nondestructive Examination Standard Liquid Penetrant Examination PT-AWS-D1.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de los procedimientos END autorizados, normas, especificaciones o códigos aplicables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de inspección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Según requerimiento del cliente (BECHTEL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente de Calidad</li> <li>Jefe de Laboratorio</li> <li>Técnicos Nivel II</li> <li>Especialista en prevención de riesgo</li> </ul>
3	Partículas magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASME sección V</li> <li>ASTM E1444</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nondestructive testing Procedure Using the magnetic particle method for ASME section V (Yoke Only)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de los procedimientos END autorizados, normas, especificaciones o códigos aplicables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de inspección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Según requerimiento del cliente (BECHTEL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente de Calidad</li> <li>Jefe de Laboratorio</li> <li>Técnicos nivel II</li> <li>Especialista en prevención de riesgo</li> </ul>
4	Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> <li>D1.1/AWS D1.1</li> <li>ASTM E714</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procedure for Ultrasonic Testing of Groove Welds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de los procedimientos END autorizados, normas, especificaciones o códigos aplicables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reporte de inspección de la medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Según requerimiento del cliente (BECHTEL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Laboratorio.</li> <li>Técnicos nivel II</li> <li>Especialista en prevención de riesgo</li> <li>Gerente de Calidad</li> </ul>

### 3.8.2. Programación de trabajos.

Los servicios a desarrollar están sujetos a la solicitud del cliente, quien bajo una orden de trabajo solicita los servicios de inspección por ensayos no destructivos.

Recibida la orden, con la técnica de ensayo específico, se realiza una programación de trabajo, estableciendo la fecha de ejecución y las prioridades (tabla 3.9).

**Tabla 3.9:**  
**Programa de trabajo**

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y OTROS SERVICIOS DE TESTEO DE MATERIALES, CALIBRACIÓN Y TESTEO DE INSTRUMENTOS Y ENSAYOS ESPECIALES					
PROGRAMACIÓN DE TRABAJO					
ORDEN DE TRABAJO N° 25635-220-YY4-NE00-10156					
Fecha: 20/10/2013					
ITEM	ORDEN DE TRABAJO	ISOMETRICO / LINEA	UNION No.	FECHA DE EJECUCIÓN	HORARIO
0001	25635-220-YY4-NE00-10156	8°-4100-WR-00609 - CIE2A	PK3/144	23/10/2013	Horario extendido
0002	25635-220-YY4-NE00-10156	6°-4100-WR-00503 - CIE2A	108	24/10/2013	Horario extendido
0003	25635-220-YY4-NE00-10156	6°-4100-WR-00503 - CIE2A	117A	24/10/2013	Horario extendido
0004	25635-220-YY4-NE00-10156	3°-4100-WR-00601 - CIE2A	105	24/10/2013	Horario extendido
0005	25635-220-YY4-NE00-10156	N/A	Probeta ANV	22/10/2013	Mediodía
0006	25635-220-YY4-NE00-10156	N/A	Probeta RBL	22/10/2013	Mediodía
0007	25635-220-YY4-NE00-10156	N/A	Probeta CQC	22/10/2013	Mediodía
0008	25635-220-YY4-NE00-10156	N/A	Probeta MATL	22/10/2013	Mediodía
0009	25635-220-YY4-NE00-10156	54°-0921-WR-00101 - CIE2A	W29	22/10/2013	Horario extendido
0010	25635-220-YY4-NE00-10156	54°-0921-WR-00101 - CIE2A	W28	23/10/2013	Horario extendido
0011	25635-220-YY4-NE00-10156	36°-0921-WR-00107 - CIE2A	W68	21/10/2013	Horario extendido
0012	25635-220-YY4-NE00-10156	36°-0921-WR-00107 - CIE2A	W69	21/10/2013	Horario extendido
0013	25635-220-YY4-NE00-10156	42°-0921-WR-00105 - CIE2A	W54	23/10/2013	Horario extendido
0014	25635-220-YY4-NE00-10156	36°-0921-WR-00103 - CIE2A	W66	21/10/2013	Horario extendido

Nota: La programación planteada se realizará siempre y cuando no se tenga inconvenientes en el proceso.

Prioridad 1	Prioridad 2	Prioridad 3	Prioridad 4
-------------	-------------	-------------	-------------

## **CAPITULO IV**

### **TRABAJO EXPERIMENTAL**

Se han aplicado los procedimientos generados en el capítulo anterior en tuberías y estructuras de diversos diámetros de acuerdo a la programación por las órdenes de trabajo, Se realizó monitoreo constante con el fin de contrastar el cumplimiento del plan de calidad establecido y que los resultados arrojados sean fiables.

Esta aplicación de los ensayos ha seguido una estructura sistemática y coordinada con el cliente. Los ensayos radiográficos realizados comprenden a trabajos de campo y procesamiento de las mismas en laboratorio, los ensayos por tintes penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido tuvieron un trabajo en campo y la elaboración de reportes en oficina.

A continuación se detallaran los pasos seguidos en cada ensayo, enmarcado en el procedimiento de trabajo establecido.

#### **4.1. Inspección por Radiografía Industrial (RT)**

##### ***4.1.1. Normas de referencia.***

Las normas y códigos de referencia utilizadas son los siguientes:

- Código a ASME sección V: Artículo 2.
- Código a ASME B31.3

##### ***4.1.2. Personal.***

El inspector que realizó los ensayos y encargados en emitir los criterios de aceptación y/o rechazo sobre las juntas soldadas, así como supervisar el ensayo es calificado como nivel II.

- Sr. Miguel Vásquez Zarate Nivel II
- Sr. Justidiano Carrasco Sánchez Nivel II

#### ***4.1.3. Equipos y materiales.***

Los equipos empleados para el ensayo radiográfico son los siguientes:

##### ***a) Equipo de rayos Gamma***

###### ***Fuente.***

Radiación Ionizante: Gamma

Radioisótopo, Actividad: Ir 192

###### ***Contenedor.***

Marca: QSA Global

Modelo: Sentinel

Tipo de fuente: Sellada – forma especial

Encapsulación de la fuente: Acero inoxidable

Blindaje: Tungsteno, Plomo y Cadmio

Caja de transporte: DOT 7ª, Tipo A, Amarillo III, TI. 0.7

##### ***b) Película radiográfica***

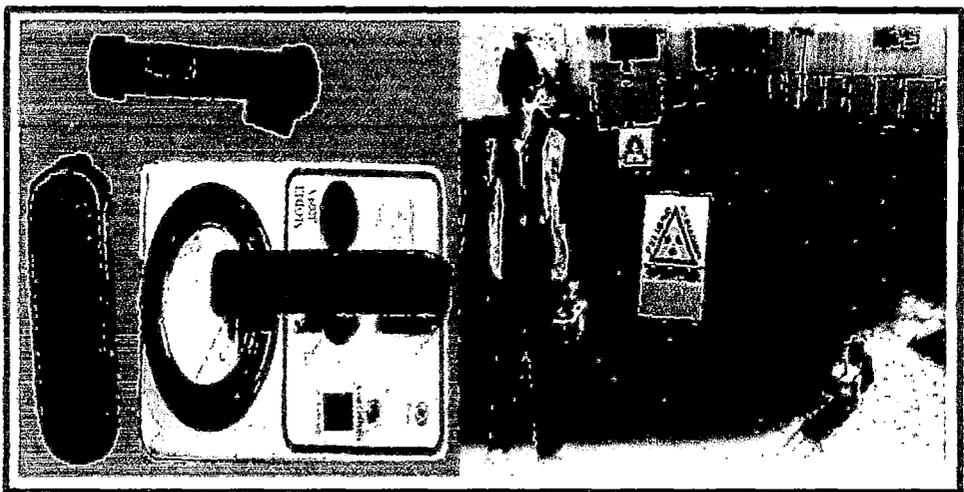
- Kodak T200 y MX 125 ancho: 70mm. Funda con pantallas de plomo de 0.020 mm

##### ***c) Accesorios de identificación, leyendas y marcas***

- Letras de identificación: Kit de letras de plomo A- Z de 3/8"
- Letras B de plomo de 1/16" espesor y 1/2" de altura.
- Indicadores de calidad de imagen (penetrámetros) de hilos: Serán seleccionados según calculo (ASTM SE147), Pudiendo ser: ASTM A ASTM B ASTM C ó ASTM D.
- Cinta métrica elaborada con cinta masking tape y letras de plomo.
- Marcadores permanentes.

*d) Equipo de seguridad*

- Dosímetros de película: Nuclear control.
- Dosímetros tipo lapicera: Arrow tech W138
- Cargador de dosímetros arrow tech
- Geiger detector de radiación arrow tech
- Geiger detector de radiación S.E international MC1K
- Alarma sonora CE dual- range SM-3
- Granallas de plomo
- Telepinza de rescate de capsula radiactiva
- Contenedor de rescate
- Letreros de delimitación de área controlada
- Letreros de delimitación de área supervisada
- Cintas de peligro de radiación.
- Conos y largueras.
- Detector de tormentas skyscan P5
- Cámara digital



**Figura 4.1. Principales equipos de seguridad usados en ensayos de radiografía**

*e) Equipo de procesamiento de películas*

- Luz de seguridad color rojo de 25 W.
- Termómetro/higrómetro
- Resistencia para calentamiento
- Termómetro simple
- Cuatro Tanques de procesamiento de películas de acero inoxidable
- Químico Revelador: Kodak industrex
- Químico Fijador: Kodak industrex
- Carrete y tubos de agitación
- Cronómetro: Radioshack
- Colgadores para el secado de películas

*f) Equipo de interpretación y evaluación*

- Negoscopio: View lite 0417 de 250 Watts
- Densitómetro de película: Esecó Speedmaster, SM - 12
- Lupa de aumento - 5x
- Regla metálica
- Tijera

*g) Documentación*

- Procedimientos escritos.
- Permiso de trabajo.
- Ordenes de trabajo

#### **4.1.4. Procesos.**

##### ***Técnica de ensayo.***

La técnica de ensayo para las tuberías ensayadas fue de doble pared vista simple.

##### ***Caso práctico.***

Se desea inspeccionar por la técnica de exposición doble pared / vista simple a una tubería de 10" diámetro, schedule 40 (según tabla schedules Pipes el diámetro externo es 27cm, el espesor es 9.27 mm). Si contamos con una fuente radiactiva de Ir-192 de 59 Curies. ¿Cuánto será el Tiempo de Exposición para obtener una densidad H&D de 3 para una película radiográfica Kodak T 200?

$$T_{exp.} = \frac{60(fp)d^2}{\left[0.55(A)2^{\left(\frac{-e}{13.22}\right)}\right]}$$

Dónde:

fp: Factor de película radiográfica (en Roentgens)

d: Distancia fuente radiactiva - película (m)

A: Actividad actual de la fuente radiactiva (en Curies)

e: Espesor total de pared que atraviesa la radiación (en milímetros)

##### ***Cálculos de tiempo de exposición.***

Actividad de fuente: 59 Ci - Tomado de tabla de decaimiento de la fuente para 1 de agosto 2013(ver Anexo III).

Factor de película: Para película kodak T200: 2.3 (tabla 4.1).

**Tabla 4.1:**  
**Factores de película radiográfica**

Iridium-192 Exposure to Produce Stated Gross Densities Using 5-mil Front, 10-mil Rear Lead Screens and 8 minutes. Development at 68°F in Kodak Industrex Manual Developer and Replenisher						
DENSIDAD H&D	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00
PELICULA RADIOGRAFICA	FACTOR DE PELICULA, Fp (en Roentgen, R)					
Dupond 75*	0.006	0.011	0.017	0.023	0.030	0.045
Fuji 150	0.200	0.320	0.440	0.570	0.700	1.000
Dupond 75	0.180	0.340	0.500	0.680	0.890	1.400
Dupond 70	0.270	0.470	0.660	0.850	1.100	1.500
Fuji 100	0.300	0.500	0.730	0.990	1.300	1.900
Agfa D7	0.300	0.500	0.740	1.000	1.300	1.900
Dupond 65	0.440	0.710	1.000	1.300	1.600	2.300
Kodak AA	0.460	0.750	1.100	1.400	1.700	2.400
Agfa D5	0.480	0.830	1.200	1.600	2.000	2.900
Fuji 80	0.620	1.000	1.400	1.900	2.400	3.500
Dupond 55	0.670	1.000	1.400	1.700	2.100	3.000
Kodak T	0.760	1.100	1.500	1.900	2.300	3.100
Agfa D4	0.760	1.300	1.800	2.400	3.000	4.300
Kodak M	1.400	2.200	3.000	3.700	4.400	5.700
Fuji 50	1.500	2.300	3.100	3.800	4.600	6.300
Dupond 45	1.700	2.600	3.500	4.400	5.400	7.300
Dupond 35	1.900	2.900	4.100	5.300	6.700	9.500
Agfa D2	3.700	5.400	7.100	8.700	10.000	13.000
Kodak R	5.400	7.200	9.100	11.000	13.000	16.000

Nota: Fuente: Presentación curso Radiografía Industrial

Distancia fuente radiactiva: Dado que la técnica es doble pared vista simple, la distancia puede considerarse lo mismo que el diámetro externo: 27cm = 0.27m (anexo XIII).

Espesor total de pared que atraviesa la radiación (doble pared), se considera dos espesores más la sobre monta:  $2 \times 9.27 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 21.54 \text{ mm}$

$$T_{exp.} = \frac{60(2.3)(0.27)^2}{\left[0.55(59)2^{\left(\frac{-21.54}{13.22}\right)}\right]}$$

T exp. = 0 min. 57 seg.

Distancia mínima foco película considerando la penumbra geométrica:

$$Ug = \frac{Fd}{D} \quad (3.1)$$

F: 0.160" (tomado de tabla de decaimiento de fuente Anexo III)

d: 9.27mm (espesor de tubería de diámetro 10")

D: 260.73 (ØExt- l espesor).

$$Ug = \frac{0.160"(9.27mm)}{260.73mm}$$

Ug = 0.006"

### ***Preparación de películas radiográficas.***

Las películas radiográficas tienen la presentación en rollos (figura 4.2), los cuales deben ser cortadas y selladas de acuerdo al diámetro de tubería a inspeccionar (tabla 4.2).

**Tabla 4.2:**  
**Tamaño de película requerida por diferentes diámetros de tubería**

Diametr o de tuberías	1"	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	30"
Medida de placas	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	32 cm	38 cm	44 cm	50 cm	52 cm	58 cm	63 cm	68 cm	80 cm	95 cm



**Figura 4.2. Película radiográfica**  
Fuente: Fotografía propia.

### ***Limpieza de la superficie.***

La limpieza de las piezas de los cordones de soldadura no fue necesaria ya que el cliente provee las condiciones antes del ensayo.

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

Tomado un punto de referencia cero y teniendo en cuenta el sentido según la estampa de soldadura, se ha colocado la cinta métrica preparada paralelo y contiguo a la soldadura con la finalidad de segmentar las áreas de interés.

Haciendo uso del marcador permanente se han marcado el punto de referencia y los segmentos establecidos, a la vez se señalaron las siglas del ensayo y la fecha de inspección para su identificación en caso de posibles reparos y trazabilidad (figura4.3).



**Figura 4.3. Identificación del elemento a inspeccionar**

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

En cada película radiográfica debe quedar registrada la identificación de la firma examinadora, siglas del constructor, número de isométrico, diámetro de junta, identificación de soldadores y la fecha de ejecución de ensayo.

Para ello se arma plantillas con letras de plomo que caben en la longitud de placa cortada, indicando toda la información mencionada (figura 4.4).



**Figura 4.4. Armado de plantilla con identificación requerida**

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

Adicionalmente la película radiográfica deberá mostrar los indicadores de calidad. De acuerdo con las tablas el indicador de calidad de hilos para el espesor a radiografiar es de categoría B, y deberá observarse en la radiografía el séptimo hilo.

***Tomus radiográficas.***

La plantilla armada es colocada en la película radiográfica y esta su vez en la sección de interés de la tubería a radiografiar. Se centra el puntero de fuente radiactiva en el lado opuesto a la película.

Se verifica que el área se encuentre despejada y coordina con el personal vigía para accionar el equipo. Se expone con la fuente durante el tiempo de exposición calculado y se corta la toma.

Para radiografiar todo el diámetro de la tubería se deben realizar tres exposiciones, siguiendo el mecanismo similar (figura 4.5).

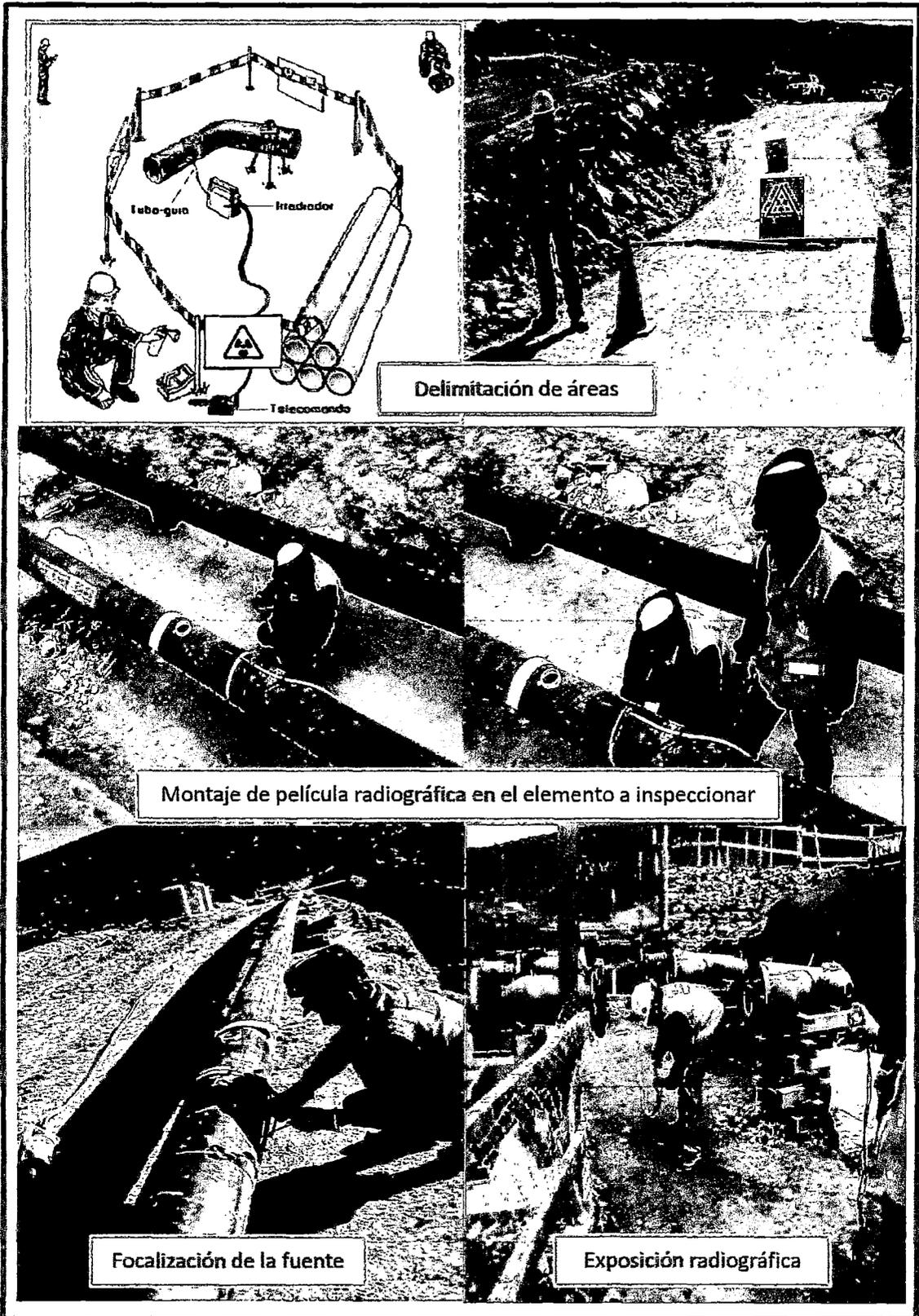
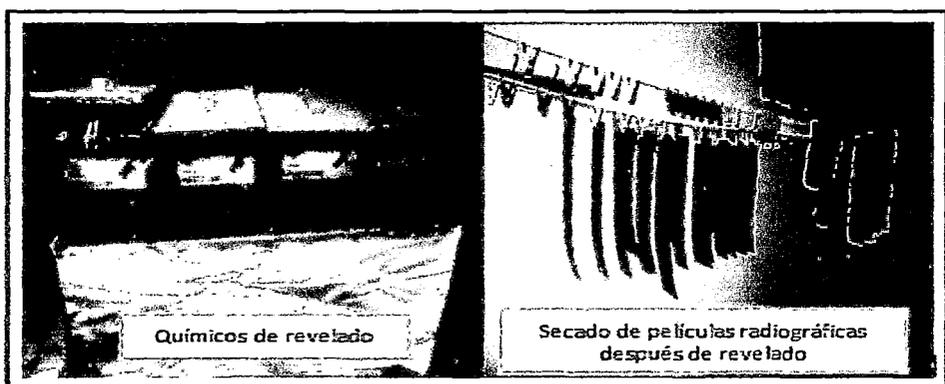


Figura 4.5. Proceso de toma radiográfica

### *Procesamiento de películas.*

Luego de realizar la toma correspondiente, estas son derivadas al laboratorio de revelado, aquí se procedieron 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 calientan el químico de revelado, agua de parada, químico fijado, y agua de lavado final hasta lograr una temperatura de 20°C. medida con un termómetro.
- Se saca las películas de su respectiva porta-película y se enjarretan todas las películas en la en el sistema carrete, posteriormente se introduce en el líquido revelador por un espacio de 5 minutos, con agitación moderada. Luego se sacó la película del revelado y se la coloca en el baño de parada con agua pura por un espacio de 3 minutos, posteriormente la película pasó al baño de fijado, aquí permaneció por 10 minutos, finalmente se colocó la película en el baño final durante 10 minutos, en agua pura.
- El siguiente paso consistió en el secado de las películas a temperatura ambiente (figura 4.6).



**Figura 4.6. Procesamiento de película radiográfica expuesta**

### *Interpretación.*

La interpretación se realizó en el cuarto oscuro, con ayuda de un negatoscopio (figura 4.7).

El criterio de aceptación del presente procedimiento corresponde a lo indicado en el Código ASME B31.3.



**Figura 4.7. Interpretación radiográfica**

### *Informe final y archivo.*

Las radiografías se entregarán al cliente junto con su informe para su archivo. Los resultados de la inspección radiográfica se presentarán en un informe final, tal como se muestra a continuación.



## Reporte de Ensayo no Destructivo Interpretación de Películas Radiográficas [WR-55]

Reporte N°:  
BVPLB-NDT-RT-0442

Fecha:  
02 / 08 / 2013

Orden de trabajo N°: 25635-220-VV4-NE00-10123	Obra Bechtel N°: 25635	Nombre del proyecto: LAS BAMBAS	Condición de superficie <input type="checkbox"/> Suelo <input checked="" type="checkbox"/> Como soldado	Diámetro / Espesor Ø 10" / 9.271 mm
Subcontratista / Contrato N°: BUREAU VERITAS 25635-220-HC4-NE00-00001	Junta Soldada N°: PRO/140	Tiempo de Examen <input checked="" type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/> Pre-PWHT <input type="checkbox"/> Post-PWHT		Procedimiento NDT / Rev. RT-ASME (REV. 5)
Isométrico / Línea / Plano N°: NF-4400-WR-0003-C-02A	Configuración del Componente TUBO - TUBO	Tipo de Material <input checked="" type="checkbox"/> C/S <input type="checkbox"/> S/S <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Dissim. Metal		Procedimiento de Soldadura / Rev. P1-A-C-LH
Código / Clase de Soldadura ASME B31.3 CAT. Normal				

### Códigos e indicaciones en las soldaduras

<b>Lineal:</b> EI Indicación alargada C Fisuras IF Fusión incompleta. IP Penetración incompleta. SI Inclusión de escoria. <b>Redondeadas:</b> P Porosidad. TI Inclusión de tungsteno. <b>Otros:</b> FA Defecto de película	<b>Superficial:</b> UC Socavación CV Concavidad en la raíz. CX Convexidad en la raíz. BT Quemón MM Desalineamiento GM Gouge Mark AB Golpe de arco OS Otras indicaciones
--	---

Localización de película (cm)	Soldadores Lado Izq. / Lado Der.	Acep.	Rech.	Código de indicación	Observación/ Localización de indicación
0-28	P080 / P022	✓		UC, P, CV	
28-56	P080 / P022	✓		P, CV	Suciedad interna
56-0	P080 / P022	✓		CV	Exceso de penetración

**Comentarios**

Interpretado por:  JUSTIDIANO CARRASCO	Nivel  II	Fecha  02-08-2013
Revisado por:		Fecha

Orden de trabajo N°: 25635-220-YY4-NEGO-10123		Informe de Ensayos no Destructivos Reporte y Evaluación de Técnica Radiográfica [WR-35]			Fecha: 02-08-2013			
Obra Bechtel N°: 25635	Nombre del proyecto: LAS BAMBAS	Condición de superficie <input type="checkbox"/> Suelo <input checked="" type="checkbox"/> Como soldado	Procedimiento NDT / Rev. RT-ASME (REV. 6)		Código Fabricación/ Clase de soldadura ASME B31.3 CAT. Normal			
Isométrico / Línea / Plano N°: 10"-4100-WR-00013-C1E2A	Parte o Junta Soldada N°: PK0/J40	Configuración de componente TUBO - TUBO	Tipo de material <input checked="" type="checkbox"/> C/S <input type="checkbox"/> S/S <input type="checkbox"/> Dissim. Metal		Empresa subcontratista: BUREAU VERITAS DEL PERÚ S.A. Contrato N° 25635-220-HC4-NE00-00001			
Película Mfr / Designación / Tamaño KODAK T200 / 14"	Carga de placa <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Simple	Pantallas de plomo (F&B, tipo, espesor) 0.020"	Designación de IQI / Nivel de calidad ASTM 1B / 7		Lámina(s) N/A			
Fuente de radiación <input checked="" type="checkbox"/> Gamma <input checked="" type="checkbox"/> (Ir <sup>192</sup> ) <input type="checkbox"/> (Se <sup>75</sup> ) <input type="checkbox"/> (Co <sup>60</sup> ) -- 58 Ci		Tiempo de exposición 0 min. 58 seg.	Ubicación de IQI <input type="checkbox"/> Lado fuente <input checked="" type="checkbox"/> Lado película		Desarrollo del proceso <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automática			
Geometría de exposición / Penumbra geométrica								
Diametro / Espesor de pared ø 10" / 9.271 mm	Espesor de refuerzo 3mm	Tamaño de fuente / Punto focal DIAMXLONGXDIAG = 2.7X2X2.36	Distancia Fuente - objeto (S-O-D) 270 mm	Espesor de Soldadura (Objeto) 12.27 mm	Penumbra geométrica (Ug), Calculada 0.020"			
Técnica & Calidad de película								
(ID) ID or # Belt in Weld, Pane/Shim in Weld (PSW), Incomplete ID (I-ID), Improper Number Belt (INB), Unacceptable Density (U-D), Improper Technique (I-T), Light Leaks (LL), Film Artifact (FA), Mottling / Streaks (M-S), Improper IQI (I-IQI), "F" missing (N-F), Crimp Marks (CM)								
Posición de película	Soldadores	Densidad de penetración (Baja)	Densidad de penetración (Alta)	Densidad clara de soldadura	Densidad oscura de soldadura	Acep. (✓)	Rech. (✗)	Observaciones
0 - 28	LI-P080 LD-P022	2.6	2.7	2.4	2.4	✓		
28 - 56	LI-P080 LD-P022	2.8	2.9	2.5	2.6	✓		
56 - 0	LI-P080 LD-P022	2.3	2.3	2.1	2.1	✓		
<input type="checkbox"/> SW5V <input type="checkbox"/> SWSV (Panorámica) <input type="checkbox"/> SWSV-Source Offset <input type="checkbox"/> SWSV-Source Ext. <input checked="" type="checkbox"/> DWSV (Contact) <input type="checkbox"/> DWSV-Ext. / Offset <input type="checkbox"/> Elliptical <input type="checkbox"/> Superimposed								
Nombre del Radiólogo: JUSTIDIANO CARRASCO		Nivel II		Fecha: 02-08-2013				
Nombre del Técnico evaluador: JUSTIDIANO CARRASCO		Nivel II		Fecha: 02-08-2013				

## **4.2. Inspección por tintes penetrantes (PT)**

### **4.2.1. Normas de referencia.**

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

- ASME V art 6 - 2010
- AWS D1.1 - 2010

### **4.2.2. Personal.**

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

- Miguel Vásquez nivel II
- Justidiano Carrasco nivel II

### **4.2.3. Equipos y materiales.**

Líquidos a aplicar:

- líquido limpiador (cleaner) Magnaflux / Spotcheck SKC-S
- líquido penetrante (penetrant) Magnaflux / Spotcheck SKL-SP2
- líquido revelador (developer) Magnaflux / Spotcheck SKD-S2

### **Accesorios.**

- Trapo industrial
- Brochas
- Bandeja anti derrame
- Guantes de nitrilo
- Mascarillas
- Cámara fotográfica digital.

#### **4.2.4. Documentos.** Tabla 6.1 de AWS D1.1. 2010

#### **4.2.5. Proceso.**

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes (figura 4.8) se la realizó mediante estos pasos:

- Limpieza con solvente, ésta se realizó con un trapo industrial empapado de líquido limpiador (cleaner), asegurando la eliminación de toda impureza presente en el área a ensayar.
- Aplicación del penetrante, con la ayuda de una brocha se aplicó una capa sobre la superficie del cordón de soldadura, se dio un tiempo de penetración de 10 minutos.
- Limpieza del penetrante, esto se realizó con un trapo industrial 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.

#### **4.2.6. Informe final y archivo.**

La interpretación se realizó basada en los criterios de la Tabla 6.1 de AWS D1.1. 2010.

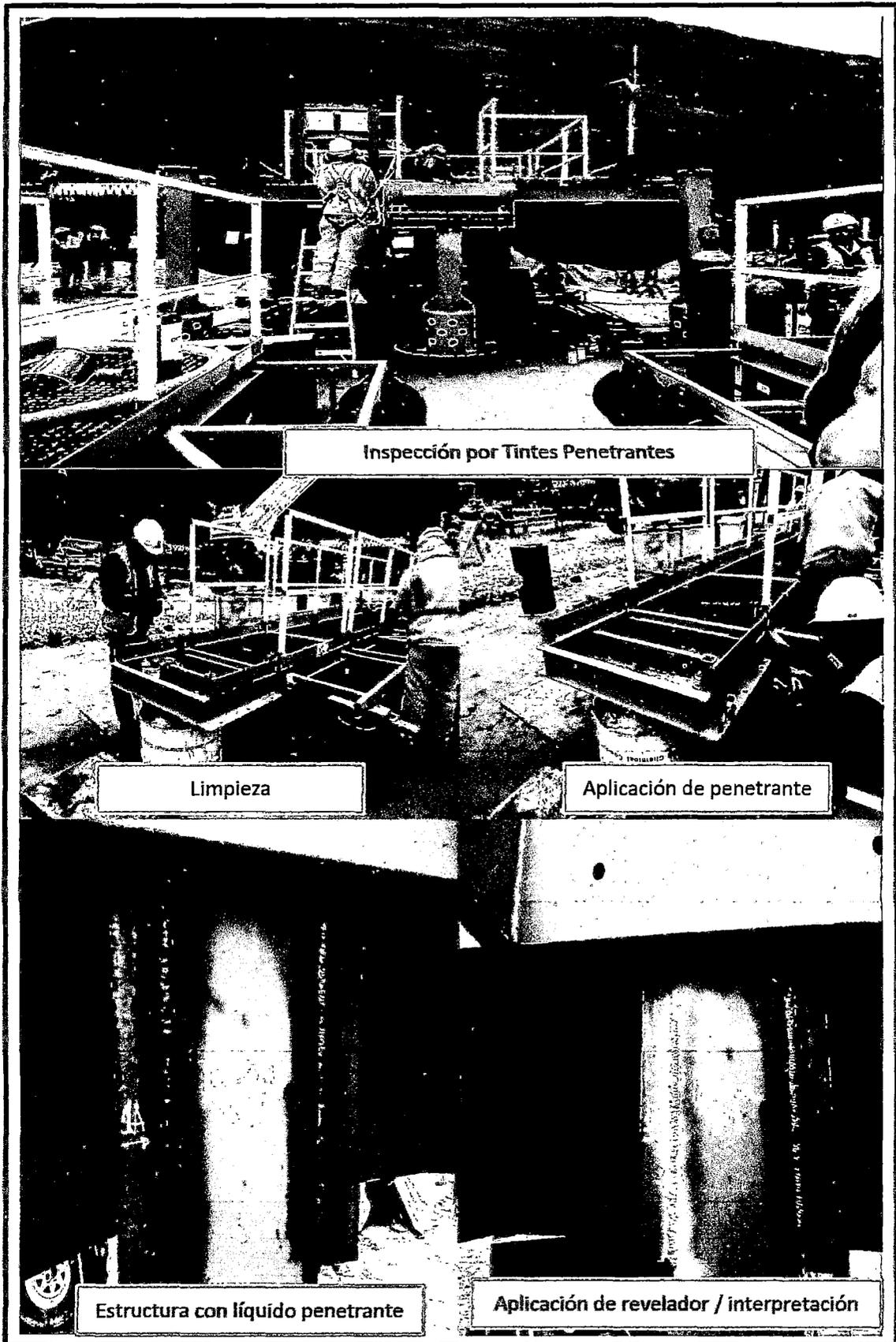


Figura 4.8. Proceso de inspección por Tintes Penetrantes



**REPORTE DE INSPECCIÓN DE  
LIQUIDOS PENETRANTES**

Hoja 1 de 2

Reporte N°:  
BVPLB-NDT-PT-0007

<b>CLIENTE:</b> Bechtel-Gym		<b>PROYECTO:</b> Vicer Construction	<b>CONTRATO:</b> 25635	<b>Fecha:</b> 11-03-2013
<b>LUGAR DE LA PRUEBA</b> Piscina 5000		<b>IDENTIFICACION DE LA INSTALACION</b> Pedestal de Barcaza N° 1		<b>PROCEDIMIENTO</b> PT (SP) - AWS D1.1 (FEV. 2)
<b>ESPECIFICACIONES DE MATERIALES</b> AWS D1.1 Cat. Normal	<b>LÍNEA Y/O REFERENCIAL</b> 25635-320-MCK-4180-00002	<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b> SMAW	<b>ORDEN DE TRABAJO</b> 25635-220-YY4-NE00-10068	
<b>MATERIAL INSPECCIONADO</b> ASTM A6/6M		<b>CONDICION DE SUPERFICIE</b> Sobre Superficie	<b>TECNICA VISIBLE - AL SOLVENTE</b> VISIBLE (mín.1000x) <input type="checkbox"/> FLUORESCENTE (1000µW/cm2) <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>LIMPIEZA</b> Fabricante: SPOTCHECK	<b>PENETRANTE</b> Fabricante: SPOTCHECK	<b>TIPO REMOVEDOR DE PENETRANTE</b> Fabricante: SPOTCHECK	<b>REVELADOR</b> Fabricante: SPOTCHECK	
<b>CLEANER</b> Tipo N/A: SKC-S	<b>CLEANER</b> Tipo N/A: SKL-SP2	<b>CLEANER</b> Tipo N/A: SKC-S	<b>CLEANER</b> Tipo N/A: SKD-S2	
Tipo N/A: SKC-S		Tiempo (Penetración): 10 min.		Tipo Base Disolvente

**REPORTE FOTOGRAFICO**



ID. SOLDADURA/PIEZA	Diam / Esp. Nom.	Soldador	DISCONTINUIDADES			OBSERVACIONES
			Tipo	Longitud	CALIFICACION	
Podestal de Barcaza N°: 1 - A	4.25 mm	F019			SO	Longitud: 320 mm No presenta indicación relevante. <b>CONDICIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA ACEPTABLE</b>
Podestal de Barcaza N°: 1 - B	4.25 mm	F019			SO	Longitud: 200 mm No presenta indicación relevante. <b>CONDICIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA ACEPTABLE</b>
Podestal de Barcaza N°: 1 - C	4.25 mm	F019			SO	Longitud: 200 mm No presenta indicación relevante. <b>CONDICIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA ACEPTABLE</b>

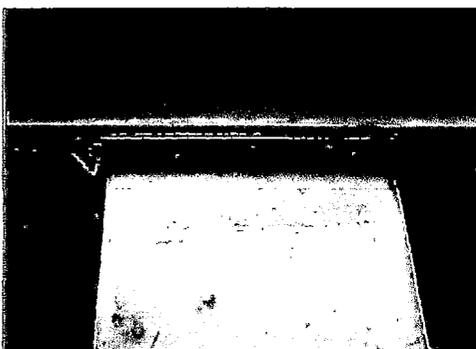
<b>INR</b> - Indicaciones No Relevantes	<b>FL</b> - Fisura Longitudinal	<b>TL</b> - Traslape
<b>RZ</b> - Rechazado	<b>FT</b> - Fisura Transversal	<b>SO</b> - Succesión
<b>REC</b> - Reconstrucción de Examen Complementario	<b>FR</b> - Fisura Ramificada	<b>FD</b> - Fovosidad
	<b>FF</b> - Falta de Fusión	<b>MA</b> - Marcas de arco
<b>EVALUADOR NIVEL II - PT - BVP</b>	<b>JEFE DE LABORATORIO BVP</b>	<b>SUPERVISOR BECHTEL</b>
Firma	Firma	Firma
Nombre: Miguel Vasquez Zarate	Nombre: Ricardo Zavala Romano	Nombre:
Fecha: 11-03-13	Fecha: 11-03-13	Fecha:



Aplicación de líquido penetrante y revelador en Pedestal de Bancaza N° 1 - A, no presenta indicación relevante.



Aplicación de líquido penetrante y revelador en Pedestal de Bancaza N° 1 - B, no presenta indicación relevante.



Aplicación de líquido penetrante y revelador en Pedestal de Bancaza N° 1 - C, no presenta indicación relevante.

### **4.3. Inspección por ultrasonido pulso Eco (UT)**

#### ***4.3.1. Normas de referencia.***

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

- ASME V art 4, 5 -2010
- ANSI-AWS D1.1-2010

#### ***4.3.2. Personal.***

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

- Miguel Rojas Tipian Nivel II

#### ***4.3.3. Equipos y materiales.***

a) Equipo de ultrasonido

- Tipo: A scan
- Marca: Olympus
- Modelo: Epoch 1000

b) Cables para transductores

- Cable coaxial

c) Transductores

- Transductor angular de: 45°

d) Acoplante

- Soundsafe 685001 1574348 Ultragel II

e) Bloques de calibración

- Bloque de calibración V1

f) Documentación

- Tabla 6.2. y 6.3. del código ANSI-AWS D1.1. 2010

**4.3.4. Procesos.**

La etapa inicial en la inspección por ultrasonido fue el proceso de calibración (figura 4.9).

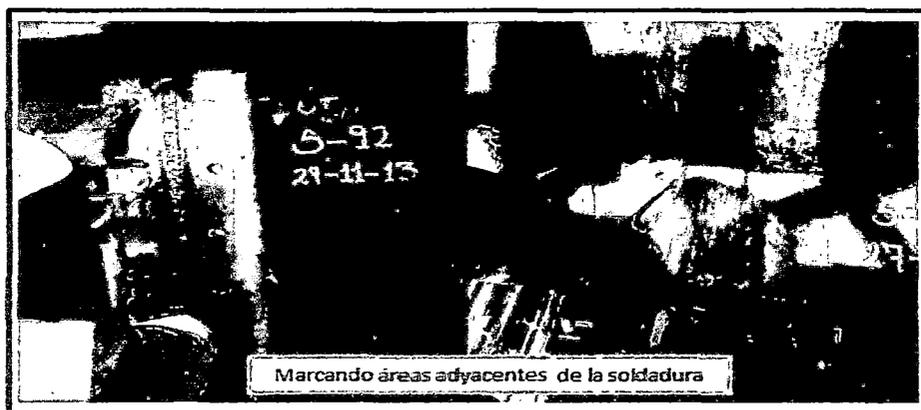
- Se utilizó un transductor angular de 45 grados con el cable coaxial respectivo con un palpador de 2.5 Mhz.



**Figura 4.9. Calibración de equipo**

**Proceso de inspección.**

- Se identificaron y se marcaron las zonas de inspección (figura 4.10).



**Figura 4.10. Marcado de área de inspección**

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 acoplante en la superficie de inspección, luego se realizó el barrido ultrasónico con los movimientos de derecha a izquierda, en toda la longitud del cordón de soldadura (figura 4.11).

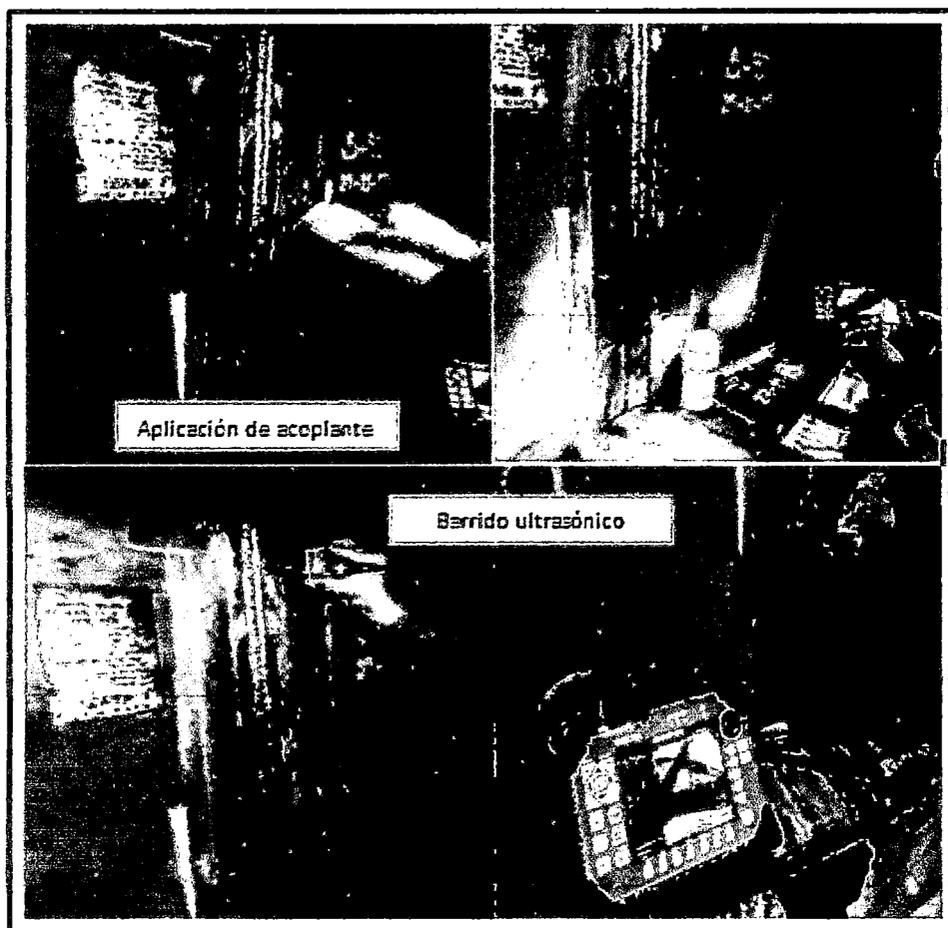


Figura 4.11. Procesos de inspección por ultrasonido pulso eco

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

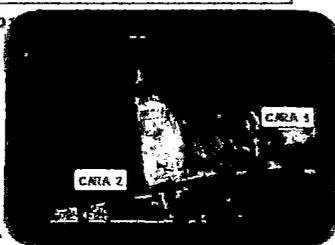
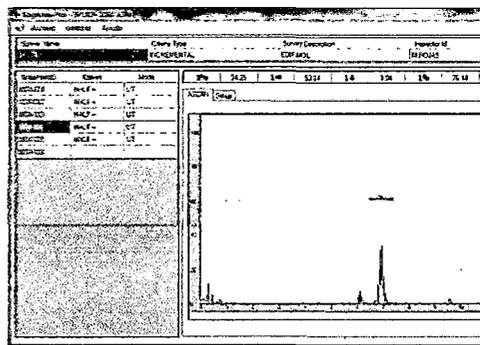
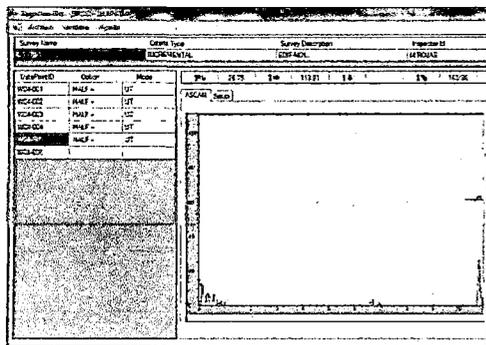
Los criterios de aceptación y rechazo para la evaluación de la inspección ultrasónica se basó en la norma ANSI-AWS D1.1. 2010 Sección 6.

		<b>REPORTE DE INSPECCIÓN ULTRASONICA EN SOLDADURAS</b>		Reporte N°:	
				BVFLB-NDT-UT-0003	
Orden de trabajo N°: 25635-220-YY4-NE09-10170		Nombre del proyecto: LAS BAMBAS	Isométrico/Lineal/Plano N°: 25635-220-SS-310A-28804	Descripción de componente: VIGA	
Procedimiento NDT / Rev. BV - Procedure (AWS - UT)		Criterio de aceptación: AWS D1.1 STATICALLY LOADED NONTUBULAR CONNECTIONS	Procedimiento de soldadura: PI - A - Lh	Empresa subcontratista: BUREAU VERITAS DEL PERÚ S.A. Contrato N° 25635-220-HC4-NE00-00001	
Parte o junta soldada: W04		Espesor de Material: 2" - 2 3/4"	Tipo de Material: A36	Linea: 2BVX053 / W36X487	
INSTRUMENTO:		TRANSDUCTOR:	ACOPLANTE:	BLOQUE DE CALIBRACION:	
Marca: OLYMPUS		Angulo de inspección: 45°	Marca: Sonotech - Ultrage II	ASTM E164 BWT TYPE CALIBRATION BLOCK (B1)	
Modelo: EPICOR NED01		Frecuencia: 2.25MHz	Rango de T°: de -25 a 65°C	Material: SREEL - ANEAS	

**Resultados de la inspección Ultrasonica**

JUNTA	Soldador	Número de Indicación	Ángulo de transductor	Cara	Nivel de Indicación				Indice de Indicación	Longitud	Distancia	Bisectriz Angular (Recurrido de haz)	Linea Severidad de elevación	Aceptación	Rechazo	Observación
					B	F	F	S								
W04	S092	-	45	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		Cara 1 espesor nominal de 2"
W04	S092	-	45	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		Cara 2 espesor nominal de 2 3/4"

**REPORTE FOTOGRAFICO Y ESPECTRAL**



Comentarios:  
 - No se encontraron indicaciones relevantes durante la examinación por Ultrasonido.  
 - Espectro 1: Espectro representativo correspondiente al borde entre el último pase del cordón de soldadura y el material base (Ubicado en la cara N° 1), correspondiente al rebote del haz en la 2da. parte de la trayectoria angular durante el barrido de inspección de la cara N° 2 de 2 3/4" de espesor (No relevante).  
 - Espectro 2: Espectro representativo correspondiente al borde entre el pase de raíz del cordón de soldadura y el material base de la cara N° 1 de 2" de espesor (No relevante)

EVALUADOR: MIGUEL ROJAS TAPIÁN NIVEL II UT-ASNT-SNT-TC-1A		NIVEL: II	FECHA: 01/12/2013
REVISADO POR:			FECHA:

#### **4.4. Inspección por partículas magnéticas (MT)**

##### ***4.4.1. 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

##### ***4.4.2. 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.

- Miguel Vásquez Nivel II

##### ***4.4.3. Equipos y materiales.***

a) Equipo de magnetización

- Yugo magnético marca Magnaflux®.

b) Medios de aplicación

- Espolvoreador
- Brocha

c) Partículas magnéticas

- Partículas secas Magnaflux®
- Partículas en suspensión acuosa Magnaflux®

d) Elementos de limpieza

- Paños, solventes, cepillo de alambre.

e) Accesorios

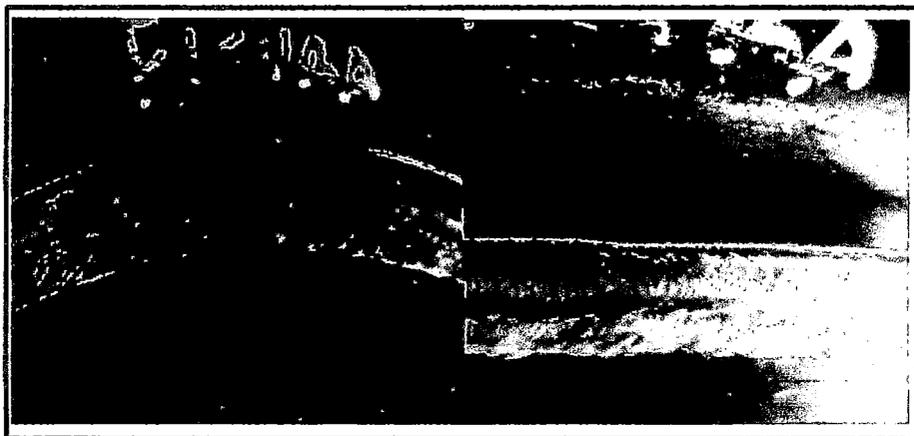
- Cámara fotográfica

g) Documentación

- Tabla 6.1 de ANSI-AWS D1.1. 2010

**4.4.4. 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 (figura 4.12).



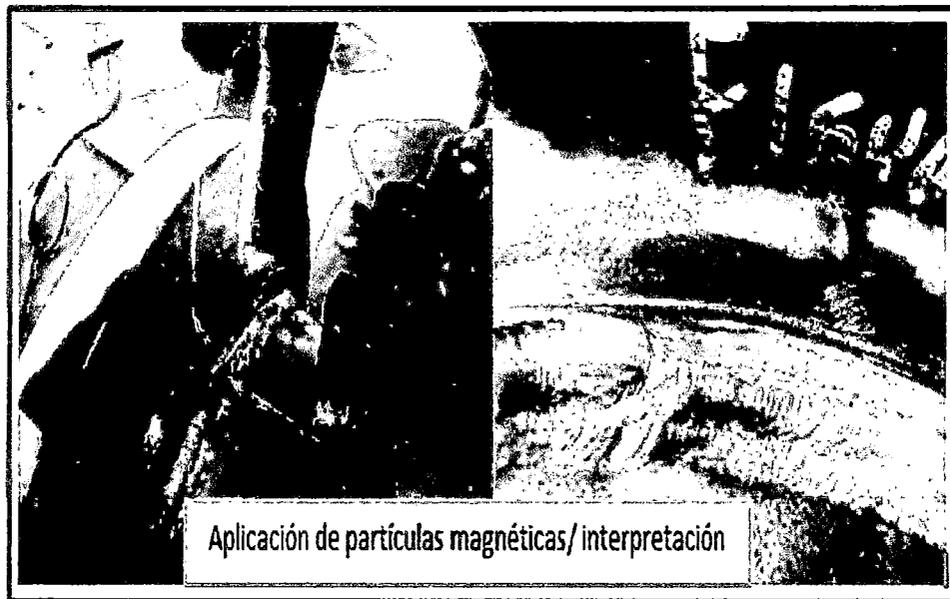
**Figura 4.12. Limpieza de la superficie del elemento a inspeccionar**

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 (figura 4.13).



**Figura 4.13. Magnetización del cordón de soldadura**

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 (figura 4.14).



**Figura 4.14. Aplicación de partículas magnéticas/ interpretación**

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.



## REPORTE DE EXAMINACION POR PARTICULAS MAGNETICAS

Código : K062-BVP-CQ-N-PR-005

Revisión: 1

Fecha: 01-dic-13

Página: 01 de 01

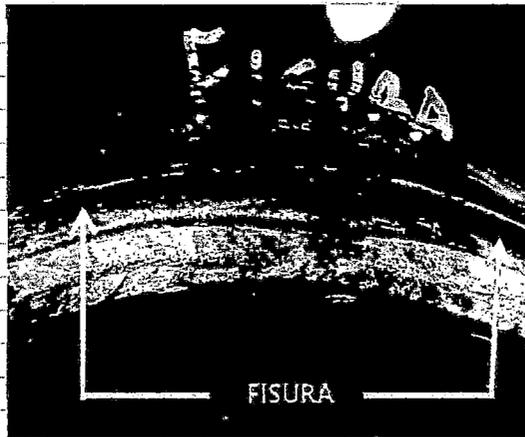
### 1.- Información General

Cliete:	Becthel	Reporte N°:	END-MT-001
Proyecto:	Las Bambas		
Componente:	Soldadura tubería/brida slip-on $\phi$ 8"	Tipo de Material:	A 53B/ A 105
Línea:	5310-CIP-1008-FW		
Tipo de Soldadura:	Filete	Proceso de Soldadura:	SMAW
Longitud Inspeccionada:	70 cm	Lugar de Inspección:	Surge Vin

### 2.- Condiciones del Examen

Procedimiento N°:	K062-BVP-NPR-005	Revisión:	1	Código:	ASTME709
Técnica de Magnetización:	YUGO	Acabado Superficial:	Aceptable		
Tipo de Magnetización:	Longitudinal: <input checked="" type="checkbox"/>	Circunferencial:	<input type="checkbox"/>	Multidireccional:	<input type="checkbox"/>
Equipo Empleado:	Marca: MAGNAFLUX	Modelo: Y-7	Serie: PT.No.43560		
Tipo de Corriente:	CA	Asperaje:	4		
Tipo de Partículas:	Fluorescentes: <input type="checkbox"/>	Confrastante:	<input checked="" type="checkbox"/>	Color:	Rojo
	Secas: <input checked="" type="checkbox"/>	En Suspensión:	<input type="checkbox"/>	Vehículo:	D1E835
Secuencia de Operación:	Continua: <input checked="" type="checkbox"/>	Residual:	<input type="checkbox"/>		
Tipo de Iluminación:	Natural: <input checked="" type="checkbox"/>	Blanca Artificial:	<input type="checkbox"/>	Ultravioleta:	<input type="checkbox"/>

### 3.- Gráficos / Foto



### 3.- Identificación

No	Código de Junta	Longitud Inspeccionada	Código del Soldador	Localización de la Indicación	Tipo	Dimensiones de la Indicación	Resultado
1	J-36	700 mm	MQS	260-330mm	C	70 mm	RECHAZADO

Criterio de Aceptación: ASME B31.3

Abreviaturas:

C: Fisura      P: Porosidad      LF: Falta de Fusión      S: Socavado

Observación: Se ha inspeccionado el cordón de soldadura, incluyendo una prolongación de ancho de brida del material base des de el pie de la soldadura

EXAMINADO POR	REVISADO POR	SUPERVISION
Fecha de Inspección: 07-ene-14	Fecha: 07-01-2014	Fecha:

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Esta tesis tuvo como propósito la implementación y monitoreo de un sistema de inspección no destructiva a fin de asegurar la calidad y el cumplimiento de especificaciones en el proceso de construcción. Así mismo identificar las fallas en el proceso de soldadura. El estudio de los datos se objetivizan mediante cuadros estadísticos y gráficos, las mismas que se muestran a continuación.

Para dar respuesta a estos objetivos, durante el año 2012, 2013 y parte del 2014 se ejecutaron 183 órdenes de trabajo, con las técnicas de ensayos no destructivos que comprenden la gammagrafía industrial, tintes penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido, ejecutando el 100% de los ensayos coordinados con el ente constructor del proyecto, esto se muestra en la figura 5.1.

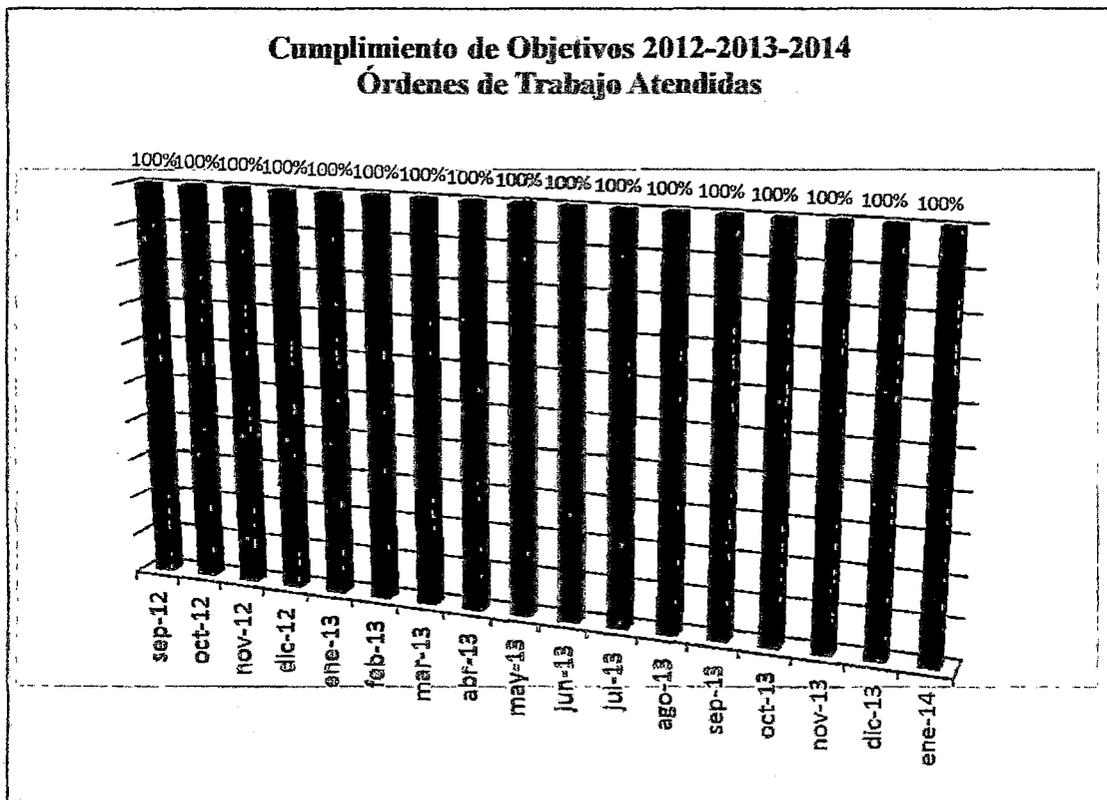


Figura 5.1. Órdenes de trabajo atendido

El monitoreo comprendió la verificación de la correcta ejecución de las soldaduras a tuberías y estructuras, las cuales se traducen en la sanidad de las mismas. Durante este monitoreo no destructivo se realizaron en general 640 ensayos, 616 ensayos por las técnicas de gammagrafía industrial, 13 por tintes penetrantes, 10 por ultrasonido y 1 por partículas magnéticas. El resumen se muestra en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1:**  
**Ensayos no destructivos ejecutados en el proyecto Las Bambas**

Período	Gammagrafía Industrial	Tintes Penetrantes	Ultrasonidos	Partículas magnéticas	Total general
<b>2012</b>	<b>110</b>	<b>6</b>			<b>116</b>
Septiembre	5	1			6
Octubre	20	3			23
Noviembre	54	1			55
Diciembre	31	1			32
<b>2013</b>	<b>503</b>	<b>7</b>	<b>10</b>		<b>520</b>
Enero	49		1		50
Febrero	29				29
Marzo	62	1			63
Abril	91				91
Mayo	83				83
Junio	13				13
Julio	13				13
Agosto	46	6			52
Septiembre	30				30
Octubre	33				33
Noviembre	37				37
Diciembre	17		9		26
<b>2014</b>	<b>3</b>			<b>1</b>	<b>4</b>
Enero	3			1	4
<b>Total general</b>	<b>616</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>640</b>

En la figura 5.2 se representa la cantidad de ensayos realizados por cada mes, durante el periodo 2012 y parte del 2014.

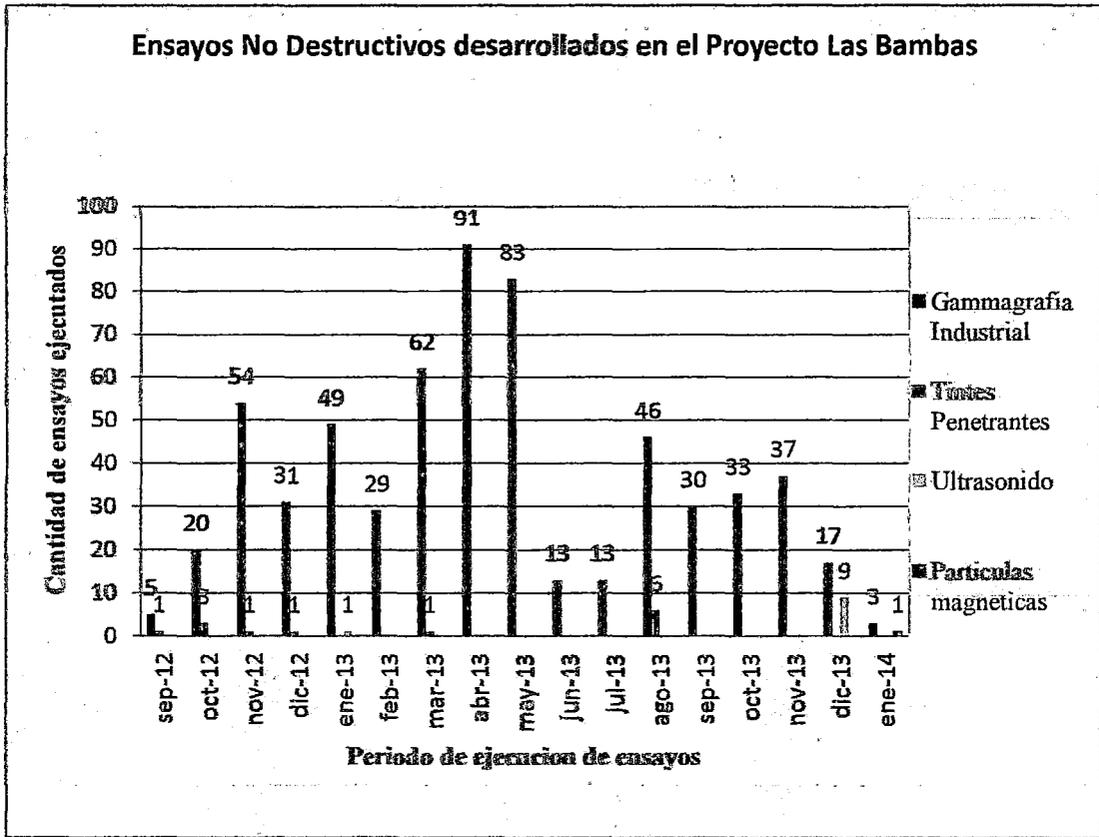


Figura 5.2. Ensayos no destructivos desarrollados en el proyecto Las Bambas

El ensayo no destructivo de mayor aplicación en el proyecto Las Bambas fue por la técnica de radiografía industrial, este representa un 96.25% del total de ensayos ejecutados, tintes penetrantes 2.03%, ultrasonido 1.56% y partículas magnéticas un 0.16%, esto se puede ver en la tabla 5.2.

La mayor aplicación de la técnica de radiografía industrial (gammagrafía industrial) obedece a la mayor ejecución de soldaduras para unión de tuberías de diferentes diámetros, siendo la técnica recomendada y convencional para este tipo de elementos la radiografía industrial.

Para elementos estructurales la técnica de aplicación fueron los tintes penetrantes, ultrasonido y partículas magnéticas. Los elementos estructurales para el proyecto son fabricados fuera del proyecto, tanto en el extranjero y el país, las cuales en general son inspeccionadas y aprobadas por los proveedores, por ello se percibe la baja aplicación por estas técnicas, pero que sin embargo no deja de ser importante en el proyecto.

**Tabla 5.2:**  
**Evaluación de la cantidad de ensayos desarrollados**

Condición	Gammagrafia Industrial	Tintes Penetrantes	Ultrasonido	Partículas magnéticas	Total general
Representación porcentual (%)	96.25	2.03	1.56	0.16	100

La aplicación de la gammagrafia industrial se empezó a dar con el inicio de construcción del proyecto Las Bambas, se percibe una tendencia de crecimiento durante el 2013, fundamentalmente en los meses febrero – mayo, meses en el que hubo la mayor producción de soldaduras de diámetros menores, en las cuales el tiempo de ejecución de la soldadura es más rápido. Se percibe una caída entre los meses de junio – julio, esto obedece a la ocurrencia de conflictos sociales que imposibilitaron la ejecución normal del proyecto. A partir de julio en adelante se retoma la ejecución lenta con la ejecución de soldaduras a diámetros mayores, de hasta 48 pulgadas, en cuya ejecución el tiempo de demora es mayor, por lo que disminuye la producción de juntas soldadas. La tendencia mencionada se puede percibir en la figura 5.3.

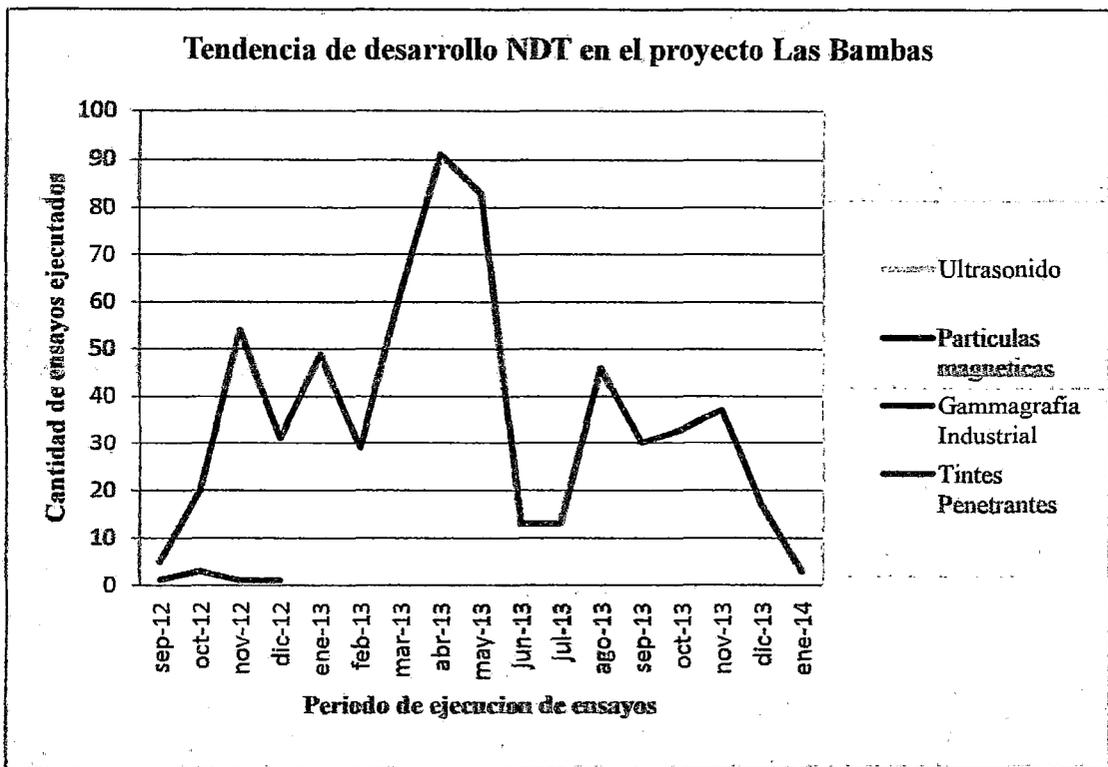


Figura 5.3. Tendencia de desarrollo ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas

El resultado de las inspecciones por ensayos no destructivos durante el periodo de ejecución fueron 582 soldaduras aceptadas y 58 rechazadas. La mayor recurrencia de rechazos se evidenció en soldaduras de tuberías, siendo estas detectadas por la técnica de gammagrafía industrial 55 juntas soldadas rechazadas, 2 estructuras rechazadas evidenciadas por la técnica de tintes penetrantes y 1 por partículas magnéticas. Los elementos rechazos tuvieron que ser reconstruidas y reemplazados por el ente constructor. Los resultados se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3:  
Condición de aceptación y rechazo de las inspecciones por ensayos no destructivos

Condición	Gammagrafía Industrial	Tintes Penetrantes	Ultrasonido	Partículas magnéticas	Total general
Aceptadas	561	11	10	0	582
Rechazadas	55	2	0	1	58
<b>Total</b>	<b>616</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>640</b>

La figura 5.4 ilustra el resultado de las inspecciones por las técnicas de ensayos no destructivos. Se puede percibir que en el proceso de ejecución de la construcción, soldadura de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas se detectaron el incumplimiento de los estándares de construcción y calidad.

Sin la aplicación de los ensayos no destructivos no hubiese sido posible la detección de elementos soldados defectuosamente, lo que se hubiese traducido en posibles desperfectos en el funcionamiento del sistema de producción del proyecto Las Bambas, incluso antes en la etapa de prueba.

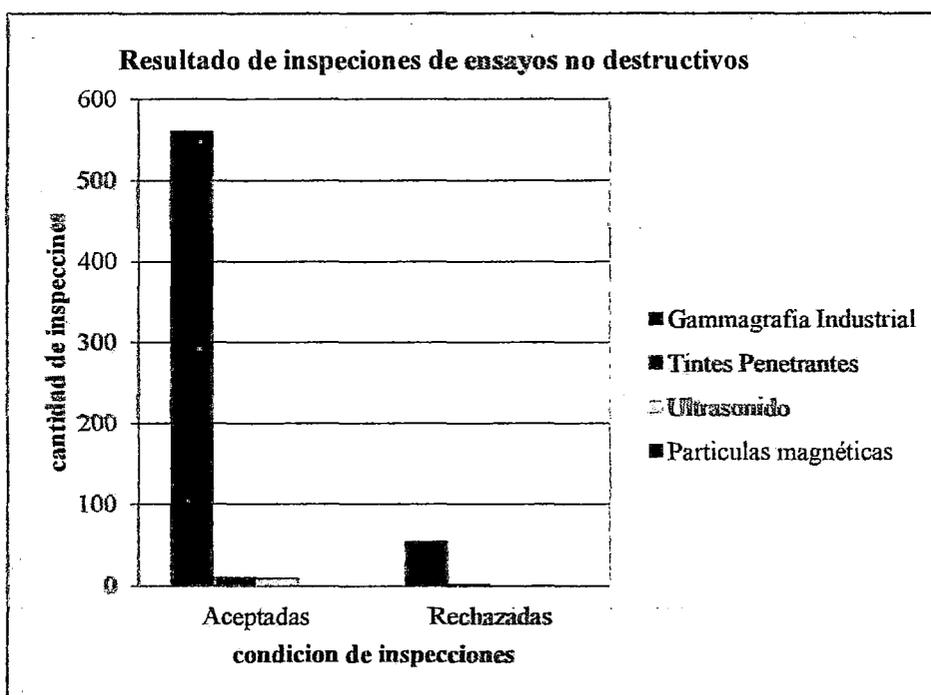


Figura 5.4. Resultados de las inspecciones por ensayos no destructivos

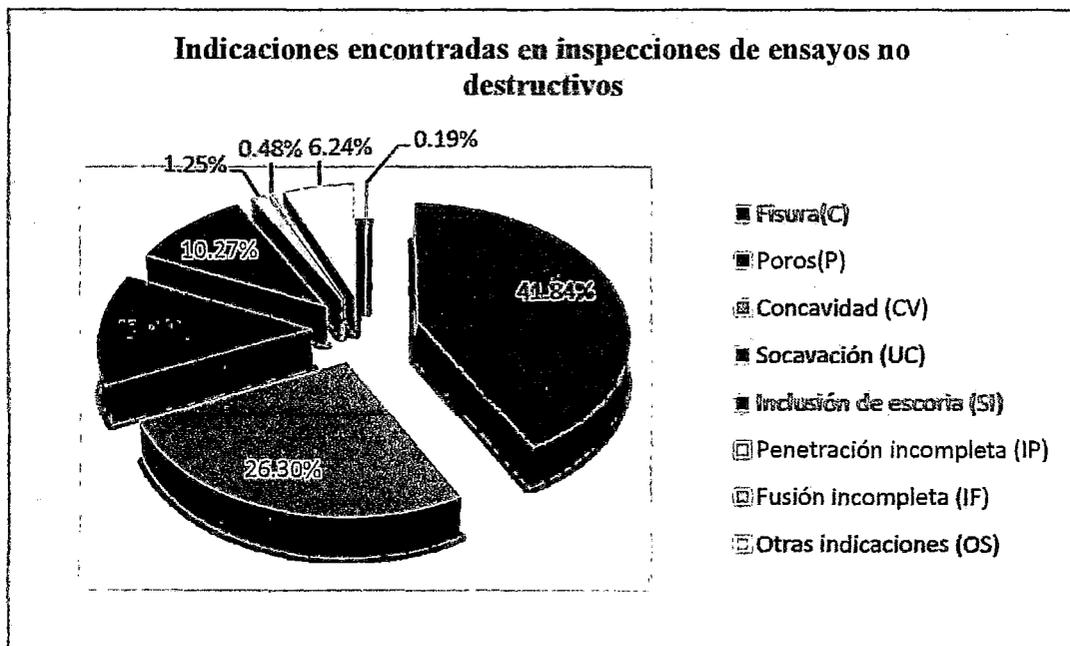
En la presente tesis, aparte de demostrar la aplicación de los ensayos no destructivos, se pretendió examinar cuáles son aquellas indicaciones que más se presentaron en la ejecución de los ensayos, cómo se manifestaron en el proceso de inspección y cuál era la prevalencia de indicaciones en este grupo. Además, se identificaron aquellos factores

asociados a la ocurrencia de indicaciones presentadas. En la tabla 5.4 se muestran los resultados de los principales hallazgos de este estudio.

**Tabla 5.4:**  
**Indicaciones de las inspecciones por ensayos no destructivos**

Fisura(C)	Poros(P)	Concavidad (CV)	Socavación (UC)	Inclusión de escoria (SI)	Penetración incompleta (IP)	Fusión incompleta (IF)	Otras indicaciones (OS)	Total
2	436	274	140	107	13	5	65	1040
3.08	41.92	26.35	13.46	10.29	1.25	0.48	6.25	% indicaciones

El estudio de 640 ensayos no destructivos ha evidenciado 1040 indicaciones, de estos el mayor tipo de indicaciones encontradas en soldaduras SMAW son porosidades que representa el 41.84% de todas las indicaciones encontradas en las evaluaciones, le sigue las concavidades que representan 26.30%, socavaciones 13.46%, inclusión de escorias 10.29% penetración incompleta 1.25%, fusión incompleta 0.48%, otras indicación como suciedad interna 6.25%. En la figura 5.5 ilustran dichos hallazgos.



**Figura 5.5. Indicaciones encontradas en las inspecciones por ensayos no destructivos**

Teniendo en evidencia las indicaciones se han buscado las posibles causas de los problemas en el proceso de soldadura y se plantea las soluciones posibles para evitar defectos. Ver tabla 5.5.

**Tabla 5.5:**  
**Causas y soluciones a indicaciones presentadas en soldadura**

<b>Defectos</b>	<b>Descripción y causas</b>	<b>Solución</b>
<b>Porosidades diversas</b>	Metal base inadecuado con contaminantes en el maquinado. Porosidades diversas en electrodos, los cuales pueden estar mojados.	Verificar el metal base y su preparación. Cuidar que los electrodos liguen y efectuar la acción de limpieza.
<b>Inclusión de escoria</b>	Poco cuidado en la limpieza de escoria, entre pasos, de los cordones de soldadura. Inclusión de escoria a la orilla del cordón en forma intermitente y escalonada. El corte y la superficie de los biseles quedo irregular. Técnica incorrecta al manipular la soldadura. El voltaje y amperaje son inadecuados al tamaño del metal base.	Cepille la escoria al finalizar cada uno de los pasos del cordón. Remueva la escoria de la orilla usando una técnica apropiada y evite realzar la corona y el dibujo del contorno, para no atrapar la escoria entre pases. Alise la superficie de los biseles que queden limpios y uniformes. Corrija los valores eléctricos en la máquina de soldar.
<b>Falta de penetración</b>	Bisel demasiado cerrado en el hombro del cordón de raíz. Electrodo de diámetro excesivo. Corriente de amperaje escaso	Vuelva a preparar correctamente dando la separación adecuada. Utilice electrodo del diámetro correspondiente. gradúe el amperaje adecuado al diámetro del electrodo y espesor de paredes del metal base
<b>Socavado</b>	Exceso de calor. Electrodo inadecuado. Manipulación incorrecta. Arco muy intenso. Velocidad inadecuada, saliéndose de los límites del cordón con técnica pobre.	Corrija el amperaje de su máquina. Cambie el electrodo. Mejore el movimiento manual. Corrija el arco. Mejore la velocidad, y corrija el movimiento del electrodo.
<b>Soldadura desalineada</b>	Falta de cuidado al soldar. Falta de experiencia o técnica pobre y descuidada. Soldar en posición incómoda.	Ser más cuidadoso al soldar. Capacitarse y auxiliarse con el señalamiento de los límites correctos del Cordón. Colocar su trabajo en forma cómoda y práctica

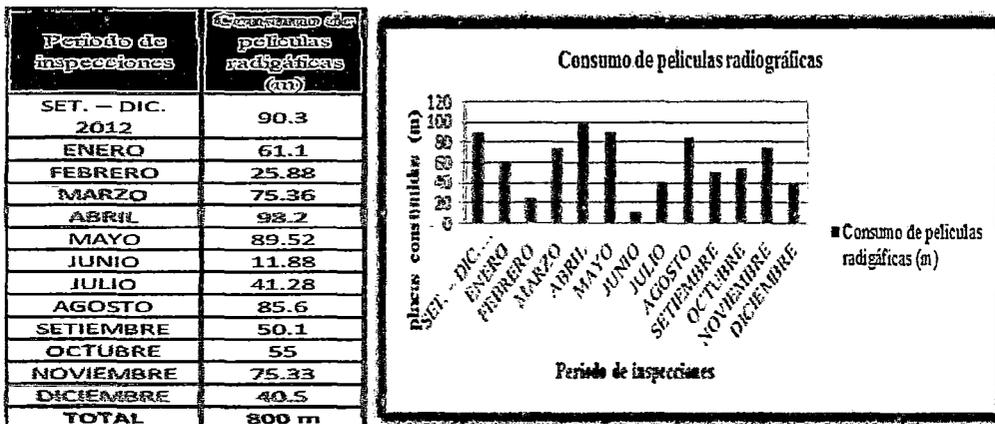
**Consumo de insumos en la ejecución de las inspecciones.**

**Consumo de películas radiográficas.**

Durante el periodo de ejecución mencionada en la presente tesis se han consumido 8 cajas de películas radiográficas. Teniendo en cuenta que cada caja contiene 100 m de películas radiográficas, se usaron 800m. Ver tabla 5.6.

La figura 5.6 muestra la tendencia de consumo la cual guarda relación con la tendencia de ensayos gammagráficos realizados en el periodo de inspección.

**Tabla 5.6:**  
**Consumos de películas radiográficas – Ensayo radiografía industrial**



**Figura 5.6. Consumo de películas radiográficas**

**Consumo de químicos para procesado de películas radiográficas.**

Durante el periodo de trabajo, ejecución de inspecciones por de gammagrafia industrial, se ha consumido 8 galones de revelador y 11 galones de fijador, las mismas que se detallan es el siguiente cuadro 5.7.

**Tabla 5.7:**  
**Consumos de químicos para procesado de películas radiográficas**

Materiales	Consumo
Revelador	8 Galones
Fijador	11 Galones

## CONCLUSIONES

1. Se ha podido implementar un sistema de inspección no destructiva de soldadura en la red de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas con satisfacción, las cuales comprenden las técnicas de gammagrafía industrial, tintes penetrantes, ultrasonido y partículas magnéticas.
2. Se establecieron los planes de calidad y procedimientos para la eficiente aplicación de los ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas. El sistema de inspección desarrollado, apoya al inspector en la correcta ejecución de los ensayos no destructivos aplicables a soldadura, tomando en cuenta, regulaciones establecidas por normas, para así ofrecer de manera óptima un servicio de calidad.
3. En el monitoreo de soldaduras por ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas se atendieron 183 órdenes de trabajo, realizando en general 640 ensayos, del total 616 por gammagrafía industrial (96.25%), 13 por tintes penetrantes (2.03%), 10 por ultrasonido (1.56%) y 1 por partículas magnéticas (0.16%). Los resultados son 582 soldaduras aceptadas y 58 rechazadas. La mayor recurrencia de rechazos se evidenció por la técnica de gammagrafía industrial, 55 juntas soldadas de tuberías rechazadas, 2 soldaduras de estructuras rechazadas por la técnica de tintes penetrantes y 1 por partículas magnéticas.
4. En el estudio se han encontrado 1040 indicaciones, 41.84% porosidades, 26.30% socavaciones, 13.46% inclusión de escorias, 10.29% penetración incompleta, 1.25%, fusión incompleta, 0.48%, otras indicaciones.
5. Los resultados de las evaluaciones permitieron al constructor evaluar los puntos críticos, tomar decisiones y mejorar sus procesos a fin de asegurar la calidad de la soldadura de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se considera interesante investigar sobre otras técnicas de ensayos no destructivos modernos, tales como la radiografía digital, Ultrasonido TOFD, análisis de vibraciones para estructuras dinámicas, corrientes inducidas, termografía, y otros.
2. El ámbito de los ensayos no destructivos es muy amplio y requiere actualización constante en estándares y normativas, el personal inspector debe capacitarse permanentemente, se recomienda calificarse y certificarse en las técnicas modernas.
3. En el caso de la operación de equipos de gammagrafía industrial tener mucho cuidado y seguimiento de lo estipulado en las normativas de seguridad radiológica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

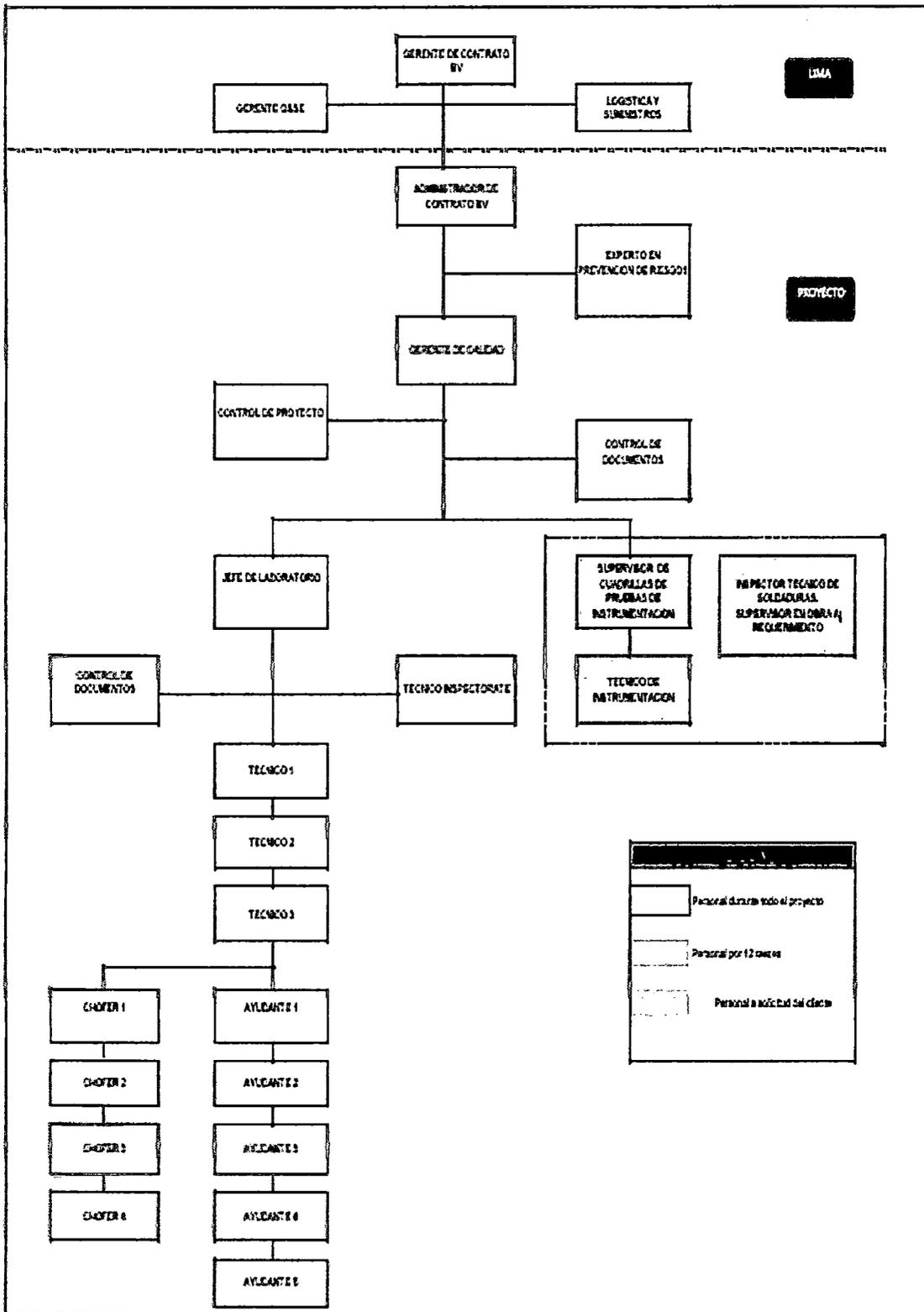
- [1] Golder Associates Perú S.A. (2010). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Las Bambas. Xstrata Tintaya S.A, Mayo, 2010.
- [2] García G., Ubaldo I. “Comparación entre los diferentes sistemas de ensayo no destructivos en el estudio de defectos de la soldadura”, 1966/G165 DF-UCVFI-EMCM.
- [3] Secretaria de comunicaciones y transportes instituto mexicano del transporte. “**La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes**”. Publicación Técnica No. 231, Sanfandila, Qro, 2003.
- [4] Daniel Perera Gerónimo. “**manual de introducción al ultrasonido industrial**”, SERVICIOS MARINOS Y TERRESTRES S.A. DE C.V.
- [5] Harry Ernesto Murray García. “*tesis, controles de calidad en la fabricación de un Rodete de Pelton*”. UNMSM – lima, 2005.
- [6] AWS, Tecnología de Inspección de Soldadura, Módulo 3 – Procesos de Unión y Corte de Metales.
- [7] Ricaurte Ospina López, Carlos Hernando Trujillo, Hernando Parra L. Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas. Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 48, agosto, 2011, pp. 196-201, Universidad Tecnológica de Pereira – Colombia. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622035>.
- [8] Ricardo Echevarría. Defectología, universidad nacional de comahue – Argentina, 2002.
- [9] ASTM E 1316 -92 Standard Terminology for Nondestructive Examinations
- [10] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. I - Rules for Construction of Power Boilers, Mandatory Appendix. Edition 2010.

- [11] ASME Sección V. Nondestructive Examination. Subsección A: Métodos de ensayos no destructivos. Ed. 2010.
- [12] ASTM E 747/04 Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology.
- [13] ASNT Recommended Practice No. SNT-TC-1A Ed. 2006
- [14] ASTM E1815-06 Standard Test Method for Classification of Film Systems for Industrial Radiography.
- [15] ASTM SE-165 Standard test method for liquid penetrant examination.
- [16] ASTM SE-709 standard guide for magnetic particle examination.
- [17] ASTM E 317 – 94 Standard Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse.
- [18] ASME Section VIII. Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels, Echo Testing Systems Without the Use of Electronic Measurement Instruments. Edition 2010.
- [19] ASME SE-94. Estándares de prácticas para el ensayo radiográfico.
- [20] AWS, Code Clinic for Study of AWS D1.5/D1.5M 2004 Structural Welding Code – Steel, Miami – USA, 2004.
- [21] Ramírez Francisco – Introducción a métodos de END - Ed 2º - Madrid 1982
- [22] AWS, Welding Inspection Technology Workbook, USA, Third Edition 1999.
- [23] F. Ramirez Gómez. Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales. (4ta. Edición). Madrid, 1996.
- [24] Manual RT nivel II, ASME V en español y procedimiento de radiografía. Llog, S.A. de C.V.
- [25] Requisitos de seguridad radiológica en radiografía industrial IR.001.2009

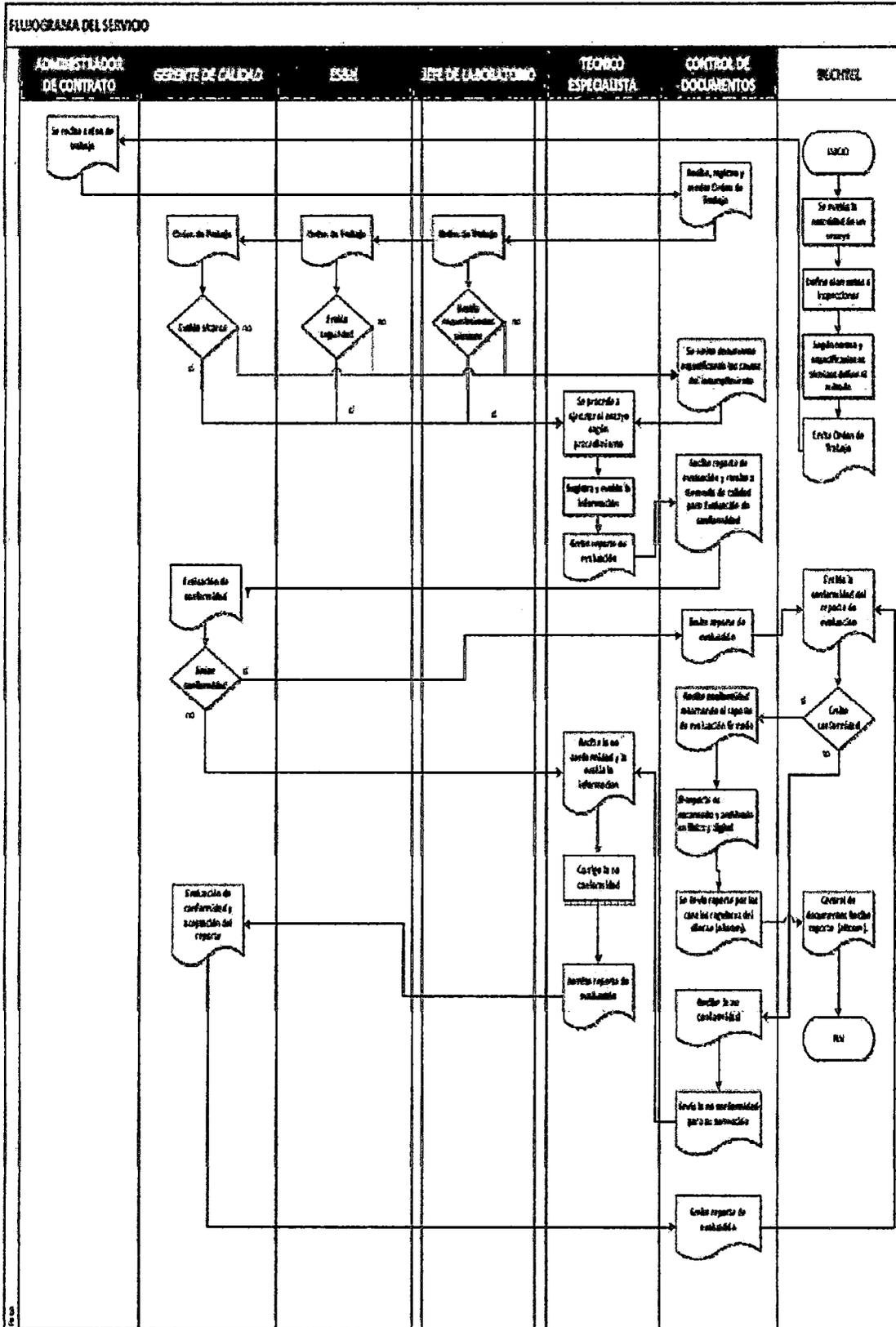
- [26] ASME B 31 Code for Pressure Piping.
- [27] API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities.
- [28] AWS Normas, códigos y estándares varios para soldaduras estructurales y prácticas recomendadas para tuberías a presión.
- [29] ASTM A370-03 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.
- [30] ASTM E114-95R03 Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method.
- [31] ASTM 1065-99R03 Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units.
- [32] ASTM E94-04 Guide for Radiographic Examination.
- [33] ASME B&PV Sec. V Ed. 2010 Nondestructive Examination
- [34] BV PERU NDT-PQ&C Procedimiento de Certificación y Calificación del Personal para Prueba No Destructiva (NDT)
- [35] API 650, Tanques de Acero Soldado para Almacenamiento de Aceite
- [36] AWS D1.1 – Código de Soldadura Estructural - Acero
- [37] DS-009-97-EM Reglamento de Seguridad Radiológica del IPEN
- [38] Core Process 209 (Ensayos no Destructivos)
- [39] Manual de Operación y Seguridad Radiológica, Bureau Veritas.
- [40] NTP – ISO 10005:1997 Gestión de Calidad – Guía para los Planes de Calidad.

## ANEXOS

### Anexo I: Estructura organizacional propuesta para el proyecto



# Anexo II: Flujoograma de servicio





**Anexo IV: Formato de ensayo no destructivo interpretación de películas radiográficas**

	<b>Reporte de Ensayo no Destructivo Interpretación de Películas Radiográficas [WR-55]</b>			Reporte N°:	
				Fecha:	
Orden de trabajo N°:	Obra Bechtel N°:	Nombre del proyecto: <b>LAS BAMBAS</b>	Condición de superficie <input type="checkbox"/> Suro <input type="checkbox"/> Como soldado	Diámetro / Espesor	
Subcontratista / Contrato N°:					
Isométrico / Línea/ Plano N°:	Junta Soldada N°:	Tiempo de Examen <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/> Pre-PWHT <input type="checkbox"/> Post-PWHT		Procedimiento NDT / Rev.	
Código / Clase de Soldadura	Configuración del Componente	Tipo de Material <input type="checkbox"/> C/S <input type="checkbox"/> S/S <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> Dissim. Metal		Procedimiento de Soldadura / Rev.	
<b>Códigos e indicaciones en las soldaduras</b>					
<b>Lineal:</b>	EI	Indicación alargada	<b>Superficial:</b>	UC	Socavación
	C	Fisuras		CV	Concavidad en la raíz.
	IF	Fusión incompleta.		CX	Convexidad en la raíz.
	IP	Penetración incompleta.		BT	Quemón
	SI	Inclusión de escoria.		MM	Desalineamiento
<b>Redondeadas:</b>	P	Porosidad.		GM	Gouge Mark
	TI	Inclusión de tungsteno.		AB	Golpe de arco
<b>Otros:</b>	FA	Defecto de película		OS	Otras indicaciones
<b>Localización de película (cm)</b>	<b>Soldadores Lado Izq. / Lado Der.</b>	<b>Acep.</b>	<b>Rech.</b>	<b>Código de indicación</b>	<b>Observación/ Localización de indicación</b>
<b>Comentarios</b>					
Interpretado por:				Nivel	Fecha
Revisado por:					Fecha

## Anexo V: Tabla de selección de métodos de ensayo no destructivo

Normal and Category M Fluid Service		Severe Cyclic Conditions			Category D Fluid Service				Examination Methods					
Type of Weld		Type of Weld			Type of Weld				Weld Imperfection	Visual	Radiography	Magnetic Particle	Liquid Penetrant	
Girth, Miller Groove & Branch Connection [Note (2)]	Longitudinal Groove [Note (3)]	Fillet [Note (4)]	Girth, Miller Groove & Branch Connection [Note (2)]	Longitudinal Groove [Note (3)]	Fillet [Note (4)]	Girth and Miller Groove	Longitudinal Groove [Note (3)]	Fillet [Note (4)]						Branch Connection [Note (2)]
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Crack	✓	✓	✓	✓
A	A	A	A	A	A	C	A	N/A	A	Lack of fusion	✓	✓	...	...
B	A	N/A	A	A	N/A	C	A	N/A	B	Incomplete penetration	✓	✓	...	...
E	E	N/A	D	D	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Internal porosity	...	✓	...	...
G	G	N/A	F	F	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Internal slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	...	✓	...	...
H	A	H	A	A	A	I	A	H	H	Undercutting	✓	✓	...	...
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Surface porosity or exposed slag inclusion [Note (5)]	✓	...	...	...
N/A	N/A	N/A	J	J	J	N/A	N/A	N/A	N/A	Surface finish	✓	...	...	...
K	K	N/A	K	K	N/A	E	K	N/A	K	Concave root surface (suck up)	✓	✓	...	...
L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	Weld reinforcement or internal protrusion	✓	...	...	...

## Anexo VI: Tabla de evaluación de discontinuidades

Symbol	Criterion Measure	Acceptable Value Limits [Note (6)]	
A	Extent of imperfection	Zero (no evident imperfection)	
B	Depth of incomplete penetration	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq 0.2\bar{T}_w$	
	Cumulative length of incomplete penetration	$\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
C	Depth of lack of fusion and incomplete penetration	$\leq 0.2\bar{T}_w$	
	Cumulative length of lack of fusion and incomplete penetration [Note (7)]	$\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
D	Size and distribution of internal porosity	See BPV Code, Section VIII, Division 1, Appendix 4	
E	Size and distribution of internal porosity	For $\bar{T}_w \leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is same as D	
		For $\bar{T}_w > 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is $1.5 \times D$	
F	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication		
	Individual length	$\leq \bar{T}_w/3$	
	Individual width	$\leq 2.5 \text{ mm } (\frac{3}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/3$	
Cumulative length	$\leq \bar{T}_w$ in any $1.2\bar{T}_w$ weld length		
G	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication		
	Individual length	$\leq 2\bar{T}_w$	
	Individual width	$\leq 3 \text{ mm } (\frac{1}{8} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/2$	
Cumulative length	$\leq 4\bar{T}_w$ in any 150 mm (6 in.) weld length		
H	Depth of undercut	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/4$	
I	Depth of undercut	$\leq 1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/4$ or $1 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$	
J	Surface roughness	$\leq 500 \text{ min. } R_a$ in accordance with ASME B46.1	
K	Depth of root surface concavity	Total joint thickness, incl. weld reinf., $\geq \bar{T}_w$	
L	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] in any plane through the weld shall be within limits of the applicable height value in the tabulation at right, except as provided in Note (9). Weld metal shall merge smoothly into the component surfaces.	For $\bar{T}_w$ , mm (in.)	Height, mm (in.)
		$\leq 6$ (1/4)	$\leq 1.5$ (3/16)
		$> 6$ (1/4), $\leq 13$ (1/2)	$\leq 3$ (3/16)
		$> 13$ (1/2), $\leq 25$ (1)	$\leq 4$ (5/16)
		$> 25$ (1)	$\leq 5$ (3/16)
M	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] as described in L. Note (9) does not apply.	Limit is twice the value applicable for L above	



**Anexo VIII: Criterio de aceptación para inspección por tintes penetrantes**

**Table 6.1  
Visual Inspection Acceptance Criteria (see 6.9)**

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connections	Cyclically Loaded Nontubular Connections	Tubular Connections (All Loads)								
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack shall be unacceptable, regardless of size or location.	X	X	X								
<b>(2) Weld/Base-Metal Fusion</b> Complete fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X								
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X								
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X								
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A 514, A 517, and A 709 Grade 100 and 110 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X								
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U):  <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">L, specified nominal weld size, in [mm]</td> <td style="text-align: center;">U, allowable decrease from L, in [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </table> In all cases, the undersize portion of the weld shall not exceed 10% of the weld length. On web-to-flange welds on girders, undercut shall be prohibited at the ends for a length equal to twice the width of the flange.	L, specified nominal weld size, in [mm]	U, allowable decrease from L, in [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X	X
L, specified nominal weld size, in [mm]	U, allowable decrease from L, in [mm]										
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]										
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]										
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]										
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in [25 mm] thick, undercut shall not exceed 1/32 in [1 mm], with the following exception: undercut shall not exceed 1/16 in [2 mm] for any accumulated length up to 2 in [50 mm] in any 12 in [300 mm]. For material equal to or greater than 1 in [25 mm] thick, undercut shall not exceed 1/16 in [2 mm] for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in [0.25 mm] deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in [1 mm] deep for all other cases.	X										
<b>(8) Porosity</b> (A) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in [1 mm] or greater in diameter shall not exceed 3/8 in [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in [20 mm] in any 12 in [300 mm] length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in [100 mm] of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in [2.5 mm]. Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in [20 mm] in any 12 in [300 mm] length of weld. (C) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in [100 mm] of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in [2.5 mm].	X										
		X	X								
		X	X								

Note: An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

**Anexo IX: Reporte de examinación por partículas magnéticas**

	<b>REPORTE DE EXAMINACION POR PARTICULAS MAGNETICAS</b>		Código:				
			Revisión:				
			Fecha:				
			Firma:				
<b>1.- Información General</b>							
Cliente:			Reporte N°:				
Proyecto:			Tipo de Material:				
Componente:			Proceso de Soldadura:				
Línea:			Lugar de Inspección:				
Tipo de Soldadura:							
Longitud Inspeccionada:							
<b>2.- Condiciones del Examen</b>							
Procedimiento N°:	Revisión:		Código:				
Técnica de Magnetización:	Acabado Superficial:						
Tipo de Magnetización:	Longitudinal: <input type="checkbox"/>	Circunferencial: <input type="checkbox"/>	Multi direccional: <input type="checkbox"/>				
Equipo Empleada:	Marca:	Modelo:	Serie:				
Tipo de Corriente:	CA	Amperaje:					
Tipo de Partículas:	Fluorescentes: <input type="checkbox"/>	Contrastante: <input type="checkbox"/>	Color:				
	Secas: <input type="checkbox"/>	En Suspensión: <input type="checkbox"/>	Veículo:				
Secuencia de Operación:	Continua: <input type="checkbox"/>	Residual: <input type="checkbox"/>					
Tipo de Iluminación:	Natural: <input type="checkbox"/>	Blanca Artificial: <input type="checkbox"/>	Ultravioleta: <input type="checkbox"/>				
<b>3.- Crítico / Foto</b>							
<b>3.- Identificación</b>							
No	Código de Junta	Longitud Inspeccionada	Código del Soldador	Localización de la Indicación	Tipo	Dimensiones de la Indicación	Resultado
Criterio de Aceptación:		ASME B31.3					
Abreviaturas:							
C: Fisura		P: Porosidad		LF: Falta de Fusión		S: Socavado	
Observación: Se ha inspeccionado el cordón de soldadura, incluido una pulgada de ancho de banda del material base desde el pie de la soldadura							
EXAMINADO POR			REVISADO POR			SUPERVISION	
Fecha de Inspección:			Fecha:			Fecha:	

**Anexo X: Criterio de aceptación para inspección por ultrasonido.**

**Table 6.2  
UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections)  
(see 6.13.1 and C-6.26.6)**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8-20]		> 3/4 through 1-1/2 [20-38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 through 4 [65-100]			> 4 through 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower		
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1		
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3		
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up		

<sup>a</sup> Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

**Notes:**

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the larger discontinuity, except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at "scanning level" in the root face area of CJP double groove weld joints shall be evaluated using an indication rating 4 dB more sensitive than described in 6.26.6.5 when such welds are designated as "tension welds" on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating "I"). This shall not apply if the weld joint is backgaged to sound metal to remove the root face and MT used to verify that the root face has been removed.
- ESW or ECW: Discontinuities detected at "scanning level" which exceed 2 in [50 mm] in length shall be suspected as being piping porosity and shall be further evaluated with radiography.
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 6.13.1.

**Class A (large discontinuities)**  
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

**Class B (medium discontinuities)**  
Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.

**Class C (small discontinuities)**  
Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] shall be rejected.

**Class D (minor discontinuities)**  
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Scanning Levels	
Sound path <sup>b</sup> in inches [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]	19
> 5 through 10 [125-250 mm]	29
> 10 through 15 [250-380 mm]	39

<sup>b</sup> This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

**Anexo XI: Criterio de aceptación para inspección por ultrasonido.**

**Table 6.3  
UT Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections)  
(see 6.13.2 and C-6.26.6)**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8-20]		> 3/4 through 1-1/2 [20-38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 through 4 [65-100]			> 4 through 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5		
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

<sup>a</sup> Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

**Notes:**

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the longer discontinuity; except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at "scanning level" in the root face area of CJP double groove weld joints shall be evaluated using an indication rating 4 dB more sensitive than described in 6.26.6.5 when such welds are designated as "tension welds" on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating "d"). This shall not apply if the weld joint is backgouged to sound metal to remove the root face and MT used to verify that the root face has been removed.
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 6.13.3.1.

**Class A (large discontinuities)**

Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

**Class B (medium discontinuities)**

Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.

**Class C (small discontinuities)**

Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] in the middle half or 3/4 in [20 mm] length in the top or bottom quarter of weld thickness shall be rejected.

**Class D (minor discontinuities)**

Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

**Scanning Levels**

Sound path <sup>b</sup> in [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]	25
> 5 through 10 [125-250 mm]	35
> 10 through 15 [250-380 mm]	45

<sup>b</sup>This column refers to sound path distance; NOT material thickness.



Anexo XIII: Tabla de espesores de pared

Ø NOM Pulg.	Ø EXT. Pulg.	PER Pulg.	ESPESOR NOMINAL POR PARED (mm.)															
			SCH 5S	SCH 4S	SCH 10	SCH 20	SCH 30	STD	ST M	SCH 40	XS	SCH 60	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	XXS
1/8	0.405	1.272	—	1.24	—	—	—	1.72	1.72	—	2.41	2.41	—	—	—	—	—	—
¼	0.540	1.696	—	1.65	—	—	—	2.23	2.23	—	3.02	3.02	—	—	—	—	—	—
3/8	0.675	2.120	—	1.65	—	—	—	2.31	2.31	—	3.20	3.20	—	—	—	—	—	—
½	0.840	2.638	1.65	2.10	—	—	—	2.76	2.76	—	3.73	3.73	—	—	—	—	4.77	7.46
¾	1.050	3.298	1.65	2.10	—	—	—	2.87	2.87	—	3.91	3.91	—	—	—	—	5.56	7.82
1	1.315	4.134	1.65	2.76	—	—	—	3.37	3.37	—	4.54	4.54	—	—	—	—	6.35	9.09
1 ¼	1.660	5.215	1.65	2.76	—	—	—	3.55	3.55	—	4.85	4.85	—	—	—	—	6.35	9.70
1 ½	1.900	5.969	1.65	2.76	—	—	—	3.68	3.68	—	5.08	5.08	—	—	—	—	7.13	10.16
2	2.375	7.461	1.65	2.76	—	—	—	3.91	3.91	—	5.53	5.53	—	—	—	—	8.73	11.07
2 ½	2.875	9.032	2.10	3.04	—	—	—	5.15	5.15	—	7.01	7.01	—	—	—	—	9.52	14.02
3	3.5	10.995	2.10	3.04	—	—	—	5.48	5.48	—	7.62	7.62	—	—	—	—	11.12	15.24
3 ½	4.0	12.566	2.10	3.04	—	—	—	5.74	5.74	—	8.07	8.07	—	—	—	—	—	—
4	4.5	14.137	2.10	3.04	—	—	—	6.00	6.00	—	8.55	8.55	—	11.12	—	—	13.48	17.12
5	5.563	17.476	2.76	3.40	—	—	—	6.55	6.55	—	9.52	9.52	—	12.70	—	—	15.87	19.05
6	6.625	20.813	2.76	3.40	—	—	—	7.11	7.11	—	10.97	10.97	—	14.27	—	—	18.26	21.94
8	8.625	27.096	2.76	3.76	—	—	6.35	7.03	8.17	8.17	10.31	12.70	12.70	15.08	18.26	20.62	23.01	22.22
10	10.75	33.772	3.40	4.19	—	—	6.35	7.80	9.27	9.27	12.70	12.70	15.08	18.26	21.43	25.40	28.57	25.40
12	12.75	40.055	3.96	4.57	—	—	6.35	8.38	9.52	10.31	14.27	12.70	17.47	21.43	25.40	28.57	33.32	25.40
14	14.0	43.982	3.96	4.19	6.35	7.92	9.52	9.52	9.52	11.12	15.08	12.70	19.05	23.82	27.78	31.75	37.68	—
16	16.0	50.265	4.19	4.19	6.35	7.92	9.52	9.52	9.52	12.70	16.66	12.70	21.43	26.18	30.96	36.52	40.48	—
18	18.0	56.548	4.19	4.19	6.35	7.92	11.12	9.52	14.27	19.05	12.70	23.82	29.36	34.92	39.67	45.23	—	—
20	20.0	62.831	4.19	5.53	6.35	9.52	12.70	9.52	15.08	20.62	12.70	26.18	32.53	38.10	44.45	50.01	—	—
22	22.0	69.115	4.19	5.53	6.35	9.52	12.70	9.52	—	22.22	12.70	28.57	34.92	41.27	47.62	53.97	—	—
24	24.0	75.398	5.53	6.35	6.35	9.52	14.27	9.52	17.47	24.61	12.70	30.93	38.88	46.02	52.37	59.53	—	—
26	26.0	81.681	—	—	7.92	12.70	—	9.52	—	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
28	28.0	87.964	—	—	7.92	12.70	15.87	9.52	—	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
30	30.0	94.247	6.35	7.92	7.92	12.70	15.87	9.52	—	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
32	32.0	100.53	—	—	7.92	12.70	15.87	9.52	17.47	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
34	34.0	106.81	—	—	7.92	12.70	15.87	9.52	17.47	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
36	36.0	113.09	—	—	7.92	12.70	15.87	9.52	19.05	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—
42	42.0	131.94	—	—	—	—	—	9.52	—	—	12.70	—	—	—	—	—	—	—

