

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICA**



**“ELABORACION Y CALIFICACION DE UN  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE  
UNA TUBERIA INCOLOY 800, EN LA  
PLANTA DE PROCESO DE HIDROGENO.  
LA PAMPILLA”**

**INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL PARA  
OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECANICO**

**JUAN CARLOS PACHECO VALLEJO**

**Callao, Mayo, 2017**

**PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**

**I CURSO TALLER DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL**

**ACTA DE EXPOSICIÓN DE INFORME FINAL DE EXPERIENCIA LABORAL**

Siendo, las 16:00 horas del día 08 de junio del 2017 en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, se reunieron los miembros del Jurado Revisor y Evaluador de la Exposición de los Informes Finales de Experiencia Laboral del I Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 084-2017-CF-FIME de fecha 23.05.17, conformado por los siguientes docentes:

**Presidente** : Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO  
**Secretario** : Ing. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE  
**Vocal** : Ing. EMILIANO LOAYZA HUAMÁN

Asimismo, contamos con la presencia de la Dra. Ana Mercedes León Zárate – Vicerrectora de Investigación de la Universidad Nacional del Callao (Supervisora General), Dr. José Hugo Tezén Campos – Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía (Supervisor de la Facultad), y el Lic. Rogelio Efrén Cerna Reyes - Miembro de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía (Representante de la Comisión de Grados y Títulos);

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo X, numeral 10.1 de la "Directiva para la Titulación Profesional Modalidad por Informe de Experiencia Laboral con Curso Taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao", aprobada por Resolución de Consejo de Facultad N° 025-2017-CF-FIME de fecha 19.01.17;

Se procede con el acto de exposición de Informe Final de Experiencia Laboral del I Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral, título: "ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN TUBERIAS INCOLOY 800 EN LA PLANTA DE PROCESO DE HIDROGENO . LA PAMPILLA.", presentado por el Bachiller PACHECO VALLEJO JUAN CARLOS, contando el asesoramiento del Mg. MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ.

Luego de la exposición correspondiente y de absolver las preguntas formuladas por los miembros del Jurado de Exposición, se procede a la deliberación en privado respecto a la evaluación;


Este jurado acordó calificar al Sr. Bachiller PACHECO VALLEJO JUAN CARLOS, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se detalla:

CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
15 (QUINCE)	BUENO

Con lo que se da por concluido el acto, siendo las 16:30 horas del día jueves 08 de junio del 2017

En señal de conformidad con lo actuado, firman la presente acta.

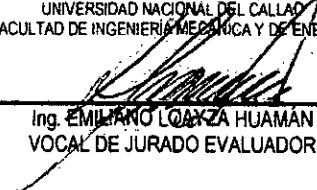
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO  
PRESIDENTE DE JURADO EVALUADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Ing. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE  
SECRETARIO DE JURADO EVALUADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Ing. EMILIANO LOAYZA HUAMÁN  
VOCAL DE JURADO EVALUADOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este informe a mi madre que ha sabido formarme con buenos hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos que siempre han estado junto a mí apoyándome.

Al hombre que me dio la vida, el cual a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

A esa personita que el día de hoy es un angelito y me cuida e ilumina mi camino día a día desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la salud que tengo y acompañarme todos los días.

A mi asesor Mg. Martín Toribio Sihuay Fernández, por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de este informe de experiencia laboral.

A los docentes de la escuela de ingeniería mecánica que con sus experiencias y conocimientos contribuyeron al desarrollo de mi formación profesional.

A la empresa HAUG, por haberme permitido desarrollarme profesionalmente y brindarme las facilidades para poder realizar este informe.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
I. OBJETIVOS .....	8
1.1. Objetivo general .....	8
1.2. Objetivos específicos .....	8
II. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCION.....	9
2.1. Empresa HAUG S.A.....	9
2.2. Organigrama de la empresa HAUG S.A.....	9
III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA O INSTITUCION.....	11
3.1. Actividades desarrolladas por la empresa.....	11
3.1.1. Ingeniería .....	11
3.1.2. Fabricación y montaje de equipos para la minería .....	11
3.1.3. Montajes Electromecánicos .....	12
3.1.4. Montaje de tuberías y ductos de centrales hidroeléctricas.....	12
IV. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA	14
4.1. Descripción del tema .....	14
4.2. Antecedentes .....	15
4.3. Planteamiento del Problema.....	18
4.4. Justificación.....	18
4.5. Marco teórico .....	20
4.5.1 Soldadura .....	20
4.5.2 Soldabilidad de las aleaciones de níquel (INCOLOY 800 ) .....	21
4.5.3 Proceso GTAW (Gas tungsten arc Welding).....	30
4.5.4 Característica de la soldadura para tuberías. ....	34
4.5.5 Código ASME, sección IX.....	40
4.5.6 Ensayos no destructivos.....	47
4.5.7 Ensayos destructivos.....	51
4.6. Fases del proyecto .....	56
4.6.1 Planificación detallada.....	57

4.6.2	Ejecución.....	69
4.6.3	Seguimiento y control.....	77
4.6.4	Cierre .....	88
V.	EVALUACION TECNICO-ECONOMICA.....	98
5.1.	Análisis estratégico.....	98
5.2.	Evaluación Económica del proyecto .....	99
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
6.1	Conclusiones .....	101
6.2	Recomendaciones.....	102
VII.	REFERENCIALES .....	105
VIII.	PLANOS Y ANEXOS.....	107
	PLANOS .....	107
	PLANO 1 .....	107
	ANEXOS.....	108
	ANEXO 1.....	108
	DIPLOMATURA DE ESPECIALIZACION DE INGENIERIA DE	
	SOLDADURA .....	108
	ANEXO 2.....	109
	ASME SECCION IX – TABLA QW-450.....	109
	ANEXO 3.....	110
	ESPECIFICACION SFA-5.14 .....	110
	ANEXO 4.....	111
	ASME SECCION IX - TABLA QW 432.....	111
	F-NUMBERS .....	111
	ANEXO 5.....	112
	TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA.....	112
	ANEXO 6.....	113
	ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE APORTE .....	113
	ANEXO 7.....	114
	ADECUACIÓN DEL TIPO DE SUMINISTRO DE CORRIENTE.....	114
	ANEXO 8.....	115

CERTIFICADO DE NIVEL II EN INSPECCION VISUAL.....	115
ANEXO 9.....	116
CERTIFICADO DE NIVEL II EN Gammagrafia.....	116
ANEXO 10.....	117
CRITERIOS DE INSPECCION VISUAL.....	117
ANEXO 11.....	118
REPORTE DE RADIOGRAFIA.....	118
ANEXO 12.....	119
TABLA QW422.....	119
ANEXO 13.....	120
INFORME DE ENSAYO DE TRACCION DE PROBETA T1 Y T2.....	120
ANEXO 14.....	1222
REPORTE DE DOBLES DE LADO.....	122
ANEXO 15.....	123
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	123

## LISTA DE TABLAS

TABLA N° 1 EFECTO DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA ELECCION DEL PROCESO DE SOLDADURA.....	27
TABLA N° 2 PROCESOS RECOMENDABLES PARA DIFERENTES ALEACIONES .....	28
TABLA N° 3 VARIABLES ESPECIFICAS DEL PROCESO GTAW .....	46
TABLA N° 4 PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE SOLDADURA (WPS) ....	62
TABLA N° 5 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) – PRIMERA PAGINA .....	66
TABLA N° 6 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) - SEGUNDA PAGINA .....	67
TABLA N° 7 REGISTRO DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA COMPLETADO .....	76
TABLA N° 8 RESULTADOS DE EXAMEN DE TRACCION .....	93
TABLA N° 9 RESULTADOS DEL EXAMEN DE DOBLEZ .....	94
TABLA N° 10 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – PRIMERA PAGINA (COMPLETADO) .....	96
TABLA N° 11 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – SEGUNDA PAGINA (COMPLETADO).....	97
TABLA N° 12 EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO .....	100



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1 ORGANIGRAMA DE HAUG S.A.....	10
FIGURA N° 2 ORGANIGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD.....	10
FIGURA N° 3 AGRIETAMIENTO POR CONTAMINACION DE IMPUREZA	23
FIGURA N° 4 DISEÑO DE UNIONES A TOPE .....	29
FIGURA N° 5 ZONAS DE LA SOLDADURA .....	37
FIGURA N° 6 DISEÑO DE LA JUNTA .....	37
FIGURA N° 7 TERMINOLOGIA DE LA SOLDADURA .....	38
FIGURA N° 8 NUMERO DE PASADAS .....	39
FIGURA N° 9 POSICION DE SOLDEO SEGÚN LA AWS .....	40
FIGURA N° 10 GALGAS DE MEDICION.....	48
FIGURA N° 11 BANCO DE ENSAYO DE TRACCION .....	54
FIGURA N° 12 MAQUINA DE DOBLADO .....	55
FIGURA N° 13 PROBETA DE DOBLADO .....	56
FIGURA N° 14 ELABORACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	68
FIGURA N° 15 SECUENCIA DE AVANCE DE LA UNION SOLDADA .....	73
FIGURA N° 16 DISEÑO DE LA JUNTA .....	78
FIGURA N° 17 ARMADO DE TUBERIAS.....	78
FIGURA N° 18 PROCESO DE SOLDADURA GTAW .....	80
FIGURA N° 19 PUNTA DEL ELECTRODO DE TUGSTENO .....	81
FIGURA N° 20 CONTROL DE TEMPERATURA ENTRE PASES .....	82
FIGURA N° 21 INSPECCION VISUAL DE LA RAIZ Y ENTRE PASES .....	84
FIGURA N° 22 ZONA DE EXTRACCION DE LOS CUPONES.....	86
FIGURA N° 23 PROBETA DE DOBLADO .....	86
FIGURA N° 24 PROBETA DE TRACCION.....	87
FIGURA N° 25 INSPECCION VISUAL A LA RAIZ Y ENTRE PASES.....	90
FIGURA N° 26 MUESTRAN LAS PROBETAS UNA VEZ ENSAYADAS.....	92
FIGURA N° 27 PROBETAS DE DOBLADO DE LADO.....	94

## INTRODUCCIÓN

La apertura petrolera en el país ha traído nueva tecnología en los últimos años, esto con la finalidad de obtener procesos más eficientes y por ende reducir los precios de los productos y obtener mejores beneficios del mercado internacional. Entre esta nueva tecnología se encuentran las nuevas aleaciones para tuberías, los cuales deben presentar muy buenas propiedades mecánicas aun en condiciones de trabajo adversas.

El presente trabajo tiene como objetivo la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura para tuberías Incoloy 800. Debido a que la HAUG, no cuenta con un procedimiento de soldadura para este tipo de tuberías incoloy 800, que garantice la soldabilidad.

Para la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura se siguieron los lineamientos y recomendaciones del ASME sección IX.

En la calificación del procedimiento de soldadura se soldara un cupón de prueba siguiendo minuciosamente cada una de las especificaciones dadas en el procedimiento. Primeramente se realizara la preparación del material base: corte, limpieza y dimensionamiento de la junta. Seguidamente se realizara la soldadura controlando principalmente la alineación, los materiales de aporte. En la junta se utilizara el proceso de soldadura GTAW para los pases de raíz y relleno, soldándola en la posición 6G.

La evaluación del cupón se llevara a cabo mediante ensayos no destructivos como la inspección visual ,ensayo de radiografía y la evaluación de ensayos

destructivos mediante ensayos de tracción y ensayo doblado, todas estas siguiendo los lineamientos y recomendaciones dados por el Código ASME, en su Sección IX.

## **I. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo general**

Elaborar y Calificar el Procedimiento de Soldadura en tuberías de Incoloy 800, según ASME sección IX, con el fin de garantizar la soldabilidad de las uniones soldadas y el montaje de las tuberías en la planta de hidrogeno.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Establecer una metodología adecuada para la elaboración y calificación de un Procedimiento de soldadura en Tuberías de Incoloy 800.
- Desarrollar el instructivo del procedimiento específico de soldadura” (WPS).
- Desarrollar el instructivo del registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR)
- Seleccionar el diseño de junta, material base, proceso de soldadura.

## **II. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCION**

### **2.1. Empresa HAUG S.A**

Con sesenta y ocho años de experiencia, HAUG es una empresa que se ha consolidado como líder en construcción metálica, montajes e instalaciones en el Perú y en el extranjero, con una importante presencia en diversos países de la región.

Con el correr de los años HAUG amplió sus servicios y productos, diversificando sus operaciones, siempre en el rubro de la industria metalmeccánica.

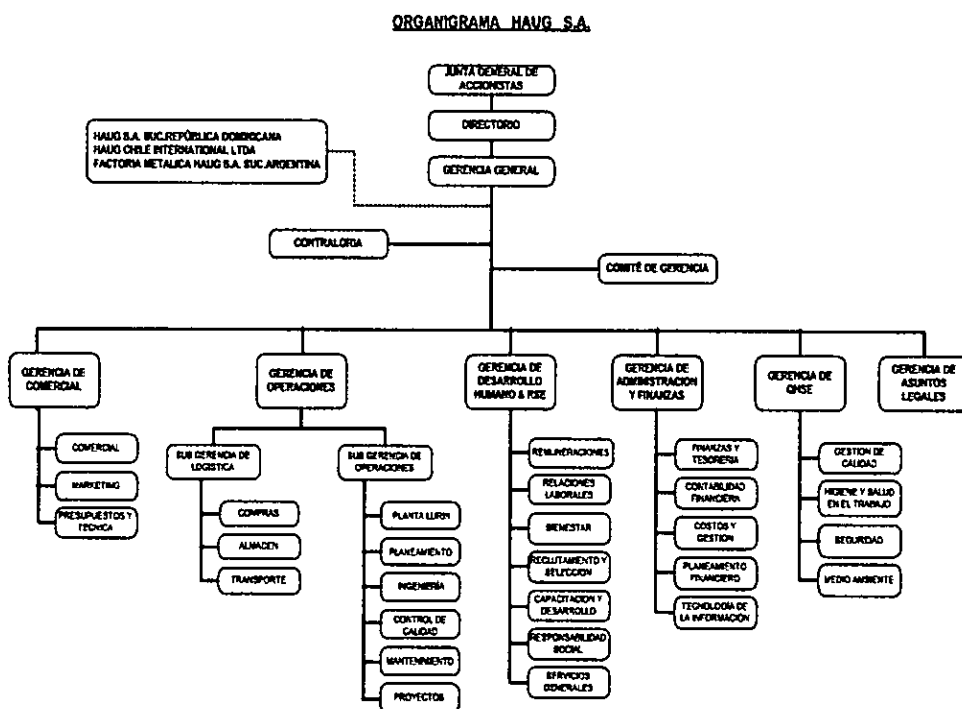
### **2.2. Organigrama de la empresa HAUG S.A**

HAUG presenta el siguiente organigrama general (véase la figura N° 1, en la página 10), donde se encuentra actualmente la distribución de jefaturas y gerencias actualmente me vengo desempeñando en el área de control de calidad como ingeniero de soldadura (véase la figura N° 2, en la página 10).

Las funciones como ingeniero de soldadura son las siguientes:

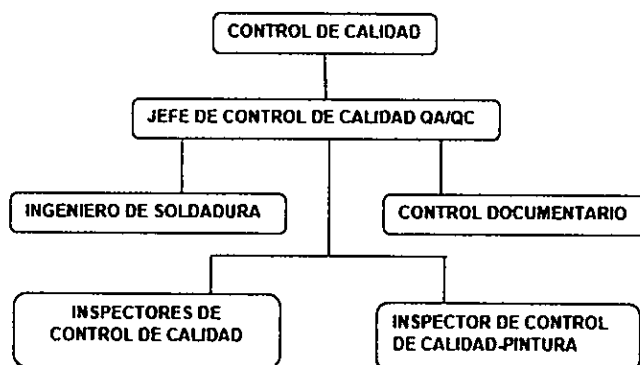
- Elaborar y calificar y procedimientos de soldadura.
- Calificar y elaborar el registro de calificación de los soldadores.
- Hacer el seguimiento y control de parámetros de soldadura y que se cumpla lo indicado en el procedimiento de soldadura.

FIGURA N° 1  
ORGANIGRAMA DE HAUG S.A



Fuente: Haug s.a

FIGURA N° 2  
ORGANIGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD



Fuente: el autor

### **III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA O INSTITUCION**

#### **3.1. Actividades desarrolladas por la empresa**

##### **3.1.1. Ingeniería**

Haug S.A. elabora la ingeniería de detalle y de taller necesaria para la fabricación y construcción de sus trabajos. En adición elabora la ingeniería básica, ingeniería de detalle, planos de fabricación y de montaje para los diferentes proyectos que ejecuta en los sectores minero-metalúrgicos, hidro-electro-mecánicos, industriales, hidrocarburos y de infraestructura.

##### **3.1.2. Fabricación y montaje de equipos para la minería**

Haug S.A. inició sus servicios como empresa tanquista hace 65 años para el sector hidrocarburos. A lo largo de los años se especializó en tanques de almacenamiento, siendo reconocida en la actualidad como la compañía más calificada y experimentada del Perú. También se especializó en la fabricación y montaje, en algunos casos, de equipos de procesos para la minería, hidrocarburos y otros sectores productivos entre ellos: Celdas de flotación de distintos tipos, espesadores, clarificadores, vessels de presión en distintas formas, entre otros. Para la fabricación de estos tanques de procesos,

Haug utiliza las normas API 650, API 653, API 620, AWS y la norma ASME.

### **3.1.3. Montajes Electromecánicos**

Haug S.A. brinda servicios de montajes electromecánicos, incluyendo transportes, montajes, pruebas y entregas en funcionamiento.

### **3.1.4. Montaje de tuberías y ductos de centrales hidroeléctricas**

Dentro de los servicios que proporciona Haug S.A. se tiene la instalación de diferentes tipos de tuberías y ductos de para centrales hidroeléctricas, incluyendo soldaduras, conexiones, accesorios y pruebas.

Los principales proyectos de la empresa en los que participe son los siguientes:

- Montaje Electromecánico De Unidades De Producción De Hidrogeno y Co2 Liquido - Refinería la Pampilla (2015-2016).
- Nodo energético Sur –Mollendo –Arequipa (2015)
- Las Bambas Construcción y Montaje de Tanques-Cusco (2014)
- Servicio de Montaje e Interconexión de Cuatro Tanques de Almacenamiento de Productos de 163MB- Talara (2013)
- Minera Lumina Cooper Chile S.A “Proyecto caserones” (2012)
- Fabricación de 36 celdas de flotación TC-300 & Piping (2012)



- **Fabricación y montaje de tuberías y equipos “OHL industrial  
Peru-Pluspetrol-Pisco (2012)**

## **IV. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA**

### **4.1. Descripción del tema**

Actualmente en el Perú y el mundo se vienen desarrollando variedad de Proyectos de gran envergadura en el sector Hidrocarburos, para la construcción de los grandes proyectos como refinerías, la soldadura está presente en todas las etapas de construcción. Para ello se necesita que la soldadura sea calificada y cumplan los criterios de aceptación del ASME sección IX.

En setiembre del 2015, se inició el proyecto en la nueva planta de Repsol ubicado en la pampilla del distrito de Ventanilla, provincia del Callao.

El proyecto consistió en la construcción de nuevas unidades de proceso que producirán combustibles diésel con bajo contenido de azufre en la refinería la pampilla, tal como lo exige la legislación peruana.

Haug S.A tenía como alcance el montaje de la planta de producción de hidrogeno, que consistía en la instalación de equipos y tendido de tuberías no aleadas y aleadas como el incoloy 800.

Debido a que HAUG S.A, no cuenta con un registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR) para tuberías de Incoloy 800, se tiene que elaborar y calificar un procedimiento de soldadura que garantiza la soldabilidad y posterior montaje de las tuberías de la planta de hidrogeno

material poco usual en Perú ya que es de una innovación en el ámbito de las aleaciones especiales para el trabajo requerido.

#### **4.2. Antecedentes**

##### **Internacionales**

- Vásquez (2009), en su estudio titulado “Calificación de procedimiento de Soldadura y Evaluación Metalúrgica de Junta a Tope P8-P8” tuvo como objetivo general Calificar el procedimiento de Soldadura de juntas disimiles a tope de acero inoxidable (P8-P8); acero al carbono (P1-P1) y realizar la evaluación metalúrgica de la junta P8-P8 correspondiente a un acero inoxidable austenítico ASTM A-312 tipo 304L utilizando la sección IX del código ASME. En esta investigación el autor presento las siguientes conclusiones. Se calificó el procedimiento de soldadura de la junta de acero inoxidable P8-P8, usando los procesos GTAW + SMAW bajo los requerimientos de la sección IX del código ASME.

La presente investigación se relaciona con el trabajo anterior por establecer la secuencia de elaboración de un procedimiento y calificación, teniendo en cuenta las variables de los procesos de soldadura utilizados. Según la sección IX del código ASME

- Gómez (2013), en su estudio titulado “Elaboración de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y el registro de calificación del procedimiento (PQR) conforme al Código: ASME 2010”; tuvo como

objetivo general realizar un documento escrito del WPS y calificarlo mediante el PQR detallando la secuencia para el desarrollo de dichos documentos mediante ASME sección IX. Así como la elaboración de la soldadura en placas por el proceso GMAW e inspección visual como control de calidad con sus respectivas pruebas mecánicas para la calificación del procedimiento”, el autor presentó las siguientes conclusiones “Se realizó un procedimiento específico de soldadura (WPS) en el cual fueron seguidas las indicaciones para llevar a cabo la unión de dos placas de acero mediante el proceso de soldadura GMAW.

Prueba de tensión: se realizaron dos pruebas de tensión en las cuales una fracturó en la soldadura y la otra en el metal base, las dos superando el esfuerzo último de tensión del metal base. Siendo aceptados los resultados.

Prueba de doblez: se realizaron 4 pruebas de doblez en las cuales 3 de ellas fueron rechazadas y solo una cumpliendo los criterios de aceptación.

Conforme a la evaluación de los resultados del ensayo de tracción y doblez se concluye que el procedimiento de soldadura no queda calificado así como el soldador que realizó la soldadura”.

Como observación a este trabajo puedo visualizar que falló la calificación del procedimiento específico de soldadura (WPS), debido a que se usó un proceso de soldadura GMAW y el modo de transferencia utilizado fue el arco por corto circuito para soldar un espesor de 3/8” por

lo cual no es recomendable por que generaría falta de fusión en la raíz o los pases de relleno.

La presente investigación se relaciona con el trabajo anterior porque nos permite elaborar y calificar el procedimiento específico de soldadura (WPS) para un material común como un A36 y el proceso de soldadura empleado para calificar el Gas metal arc Welding (GMAW).

### **Nacionales**

- Luna (2010), en su estudio titulado “Evaluación del Procedimiento de Soldadura de la Unión Disímil entre Aceros API 5L X70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65”, tuvo como objetivo general “Calificar el procedimiento de soldadura para la unión entre una brida ASTM A707 L5 F65 y una tubería API 5L X70 PSL1 con la finalidad de asegurar su implementación en el sistema de transporte de gas natural por ductos”, el autor presento la siguiente conclusión “La especificación de procedimiento de soldadura para tubería de acero API 5L X70 PSL1 y brida ASTM A707 L5 F65 quedó calificada, aplicando el Código ASME, Sección IX. La desviación en la composición química del material ASTM A707 L5 F65 con respecto a la especificación técnica ASTM A707, particularmente en los porcentajes en peso de manganeso y molibdeno, no genera un cambio significativo en el valor del carbono equivalente ( $CE=0.218$ ) de manera que no excede el límite superior ( $CE=0.4$ ) a partir del cual existe riesgo de fisuración en frío. Además,

gracias al bajo contenido de carbono presente en ambos metales base se favorece la correcta ejecución del cordón de soldadura.”

La presente investigación se relaciona con el trabajo anterior ya que permite en la elaboración y calificación del procedimiento específico de soldadura (WPS) para tubería de acero API 5L X70 PSL1 y brida ASTM A707 L5 F65, usando procesos de soldadura mixto como es el gas tungsten arc welding (GTAW) y Shielded metal arc Welding (SMAW) para la raíz y acabado respectivamente.

#### **4.3. Planteamiento del Problema**

¿Cómo elaborar y calificar un procedimiento de soldadura según ASME sección IX, que permitirá garantizar la soldabilidad de la tubería incoloy 800 y posterior montaje de la planta de hidrogeno ubicado en la pampilla?

#### **4.4. Justificación**

##### **Práctica.**

Según Bernal Cesar (2010), enuncio que “la justificación práctica se debe de hacer cuando el desarrollo de la investigación ayuda a resolver un problema o por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo” (p. 106).

En el trabajo de investigación tiene justificación practica por que mediante la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura de una

tubería incoloy 800, según ASME sección IX, para la instalación de la planta de hidrogeno- La pampilla. Ayudará a poder realizar el montaje de las tuberías y garantizar la soldabilidad de todas las uniones de la planta de hidrogeno-la pampilla.

### **Metodológica.**

Según Bernal Cesar (2010), enuncio que “la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto que se va a realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable”. (p. 106)

Siguiendo con la secuencia del ejemplo anterior, la justificación metodológica estaría descrito de la siguiente:

Esta investigación se justifica metodológicamente porque nos permite seguir unas secuencias para la elaboración y la calificación del procedimiento de soldadura en tuberías incoloy 800, para una planta de proceso de hidrogeno. Se divide en dos partes la primera es elaborar y la otra es calificar en ambos casos se establece un método de cómo desarrollar la investigación.

En elaborar el procedimiento de soldadura para un material que no es común como el incoloy 800 (según ASME es el SB407).

Para la calificación del procedimiento de soldadura se sigue el instructivo el procedimiento específico de soldadura (WPS),

la aplicación de presión sola y con o sin el uso de material de aporte.” (AWS A3.0, p.71).

#### **4.5.2 Soldabilidad de las aleaciones de níquel (INCOLOY 800 )**

El uso que se hace de las aleaciones base níquel hace que en la mayoría de los casos se requiera que estas sean fácilmente soldables. Las operaciones de soldeo requieren verdadera importancia en la fabricación aeroespacial y de armamento, industria petroquímica, y nuclear.

Bajo el punto de vista de su soldabilidad las aleaciones de níquel tienen que dividirse en dos grandes grupos, que son las tratables térmicamente (endurecimiento por precipitación) y las no tratables. Ambos grupos tienen una composición química complicada con una gran variedad de propiedades que pueden ser variadas mediante tratamientos térmicos. Cualquier operación de soldadura en las aleaciones de níquel debe ser cuidadosamente ajustada en lo relativo a aporte térmico dada su gran influencia en las propiedades finales de la unión soldada. Los elementos de aleación poseen en cada estructura un efecto muy definido en la soldabilidad, y el conocimiento de esta influencia en nuestro caso es de suma importancia a la hora de determinar los procedimientos de soldadura.



Para la soldadura de las aleaciones de níquel los procesos de soldadura que más se emplean son el GTAW y el electrodo manual, y en la soldadura de grandes piezas algunas veces el arco sumergido.

El proceso MIG con gas inerte también va ocupando lugares más destacados, si bien su empleo está restringido en piezas de responsabilidad que requieran un riguroso control de calidad.

En general para este tipo de aleaciones, la aplicación de los procedimientos debe ser muy rigurosa. Variables tales como:

- La preparación de junta.
- Diseño de la unión.
- Pre calentamiento y temperatura interppase
- Materiales de aportación
- Proceso de soldeo a emplear

Deben ser definidas en cada caso pues de lo contrario resultara muy difícil obtener una soldadura libre de porosidad, sin grietas y exenta de inclusiones. (CESOL, 2013 tema 2.19, pp.8-10)

A continuación se detalla lo mencionado anteriormente:

**a) Preparación de superficies**

La limpieza es una de las condiciones más importantes para conseguir soldaduras correctas del níquel y aleaciones. Debido a que la soldadura se debe realizar solo en material limpio y completamente libre de impurezas.

Tanto para elaborar y calificar se establecieron métodos que ayudaran a futuros trabajos de investigación de cómo elaborar un procedimiento de soldadura.

#### **Tecnológica.**

Según Espinoza Ciro (2010) enuncio que se justifica tecnológicamente una investigación cuando se satisface las necesidades sociales. Que pueden ser: soluciones que permiten mejorar su nivel de vida; soluciones que mejoran la ecología; soluciones que permiten mejorar el sistema productivo. (p. 81)

Esta investigación tiene justificación tecnológica por que mediante el diseño de un procedimiento de soldadura en tuberías incoloy 800, la calificación adecuada para el Procedimiento de Soldadura en Tuberías de Incoloy 800, ayudara a dar inicio a los trabajos de soldadura y posterior montaje ya que si no se cuenta con el procedimiento no se podrá cumplir con la producción (avances) estimada para el proyecto según el cronograma de entrega al cliente. También proporcionara una mejoría en términos de aseguramiento de la calidad, que es necesario en todo tipo de proceso productivo.

### **4.5. Marco teórico**

#### **4.5.1 Soldadura**

Se ha definido la soldadura “Es una coalescencia localizada de metales o no metales producida por el calentamiento de materiales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión o por

El níquel es un metal que se fragiliza por la presencia de elementos como el azufre, el fósforo, y también de otros metales de bajo punto de fusión como son el plomo, el cinc y el estaño.

La rotura por fragilidad debida al azufre de las láminas de níquel se evidencia en la ZAT en un lado del cordón solamente si solo estaba deficientemente limpiada una de las chapas a soldar a tope. (Véase la figura N° 3)

**FIGURA N° 3**  
**AGRIETAMIENTO POR CONTAMINACION CON IMPUREZA**



Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

La profundidad y la extensión de la limpieza pueden variar según la concentración de las sustancias fragilizantes, y también de la naturaleza de las mismas, ya sea en la propia aleación o en los

### **c) Precalentamiento y temperatura entre pasadas**

El precalentamiento no se recomienda en el caso de las aleaciones de níquel, aunque debe evitarse que la humedad se pueda condensar y favorecer la aparición de porosidad.

La temperatura entre pasadas debe ser baja para evitar calentamientos excesivos, como máximo debe ser de unos 140 °C en el caso de aleaciones de alta resistencia a la corrosión. Los métodos de enfriamiento que se usan para reducir la temperatura entre pasadas no deben introducir contaminantes que en un futuro puedan causar discontinuidades, como por ejemplo trazas de aceite del aire comprimido o depósitos minerales del agua vaporizada. (CESOL, 2013 tema 2.19, p.15)

### **d) Materiales de aportación**

#### **Electrodos desnudos**

En general los electrodos desnudos de níquel se dividen en las mismas familias que los revestidos, aunque hay más clasificaciones según el metal de aportación. Están diseñados para soldar metales base de composición parecida a ellos con MIG, TIG, arco sumergido o por plasma, aunque estos procesos no son aplicables a todas las aleaciones. Algunos de estos electrodos se pueden usar en soldadura heterogénea y también en recargues en aceros.

En algunos casos, las propiedades del cordón serán mucho menores que las de las chapas a soldar. Este comportamiento se debe tener muy en cuenta en el diseño de la junta. (CESOL, 2013 tema 2.19, p.17)

#### **e) Procesos de soldeo aplicables**

Las aleaciones de níquel se pueden unir por todos los procesos comúnmente usados en aceros y otros metales. Pero no todos los procesos se pueden usar en todas las aleaciones por sus condiciones metalúrgicas.

Los procesos de soldeo por arco eléctrico se pueden aplicar ampliamente en las aleaciones más comunes de níquel, si bien su elección dependerá fuertemente de la aleación a soldar, de la influencia de la energía aportada y del peligro de contaminación por O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CO, del espesor, de la posición, de la necesidad de sujeciones y posicionadores y de las condiciones de contorno.

La gran energía aportada en los procesos de soldeo puede producir cambios indeseables en las aleaciones de níquel. El tamaño de grano puede crecer hasta en varios grados en la zona afectada térmicamente.

El input térmico y la temperatura que se alcanza entre pasadas determinan la extensión de estos cambios microestructurales en el material. Un input térmico alto puede dar lugar a bolsas de líquido, a

compuestos usados para el corte, el marcado y otras operaciones para el conformado.

Los cepillos de alambre usados en la limpieza después de la soldadura de estas superficies deben ser de acero inoxidable autentico. A pesar de ello, no pueden quitar las inclusiones tenaces de la superficie de los cordones de soldadura. Los óxidos tenaces que se hayan podido formar se tienen que quitar por pulido con una rueda de alúmina o de carburo de silicio, u otro carburo duro. Cualquier herramienta para limpiar, incluyendo los cepillos de alambres, deben estar libres de otros metales que se puedan transferir al metal base. (CESOL, 2013 tema 2.19, pp.13-14)

#### **b) Diseño de uniones**

El diseño de las uniones está determinado por el espesor de la pieza a soldar y por la mayor viscosidad de estos materiales, en comparación con los aceros. En general los ángulos de biselado deben ser mayores que los utilizados para aceros para conseguir la misma humectación y penetración. . (CESOL, 2013 tema 2.19, p.14)

Se muestra ejemplos de preparación de bordes para uniones a tope de estas aleaciones. (Véase la figura N° 4, en la página 29)

precipitación de carburos, o a otros procesos metalúrgicos. Éstos, en cambio, siempre ocasionan grietas o pérdida de la resistencia a la corrosión, o también ambas a la vez. (CESOL, 2013 tema 2.19, pp.17-19)

Se muestran los procesos recomendados en función de la aleación y del tamaño de grano. (Véase la tabla N° 1) y (véase la tabla N° 2, en la página 28)

**TABLA N° 1**  
**EFFECTO DEL TAMAÑO DE GRAÑO EN LA ELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA**

Aleaciones	Tamaño de grano(b)	GMAW©	HAZ de Electrones	GTAW	SMAW
600	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	X	X
617	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	---	X
625	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	X	X
706	Fino	---	X	X	X
	Grueso	---	---	---	X
718	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	X	---	X
800	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	X	X
AISI Type 316 Steel	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	X	X
AISI Type 347 Steel	Fino	X	X	X	X
	Grueso	---	---	X	X

a. Procesos marcados con X son recomendados  
b. Grano fino es mas pequeño que ASTM numero 5; grano grueso es ASTM numero 5 o mas grande  
c. transferencia spray

Fuente: CESOL (Asociación española de soldadura y tecnologías de unión)

TABLA N° 2

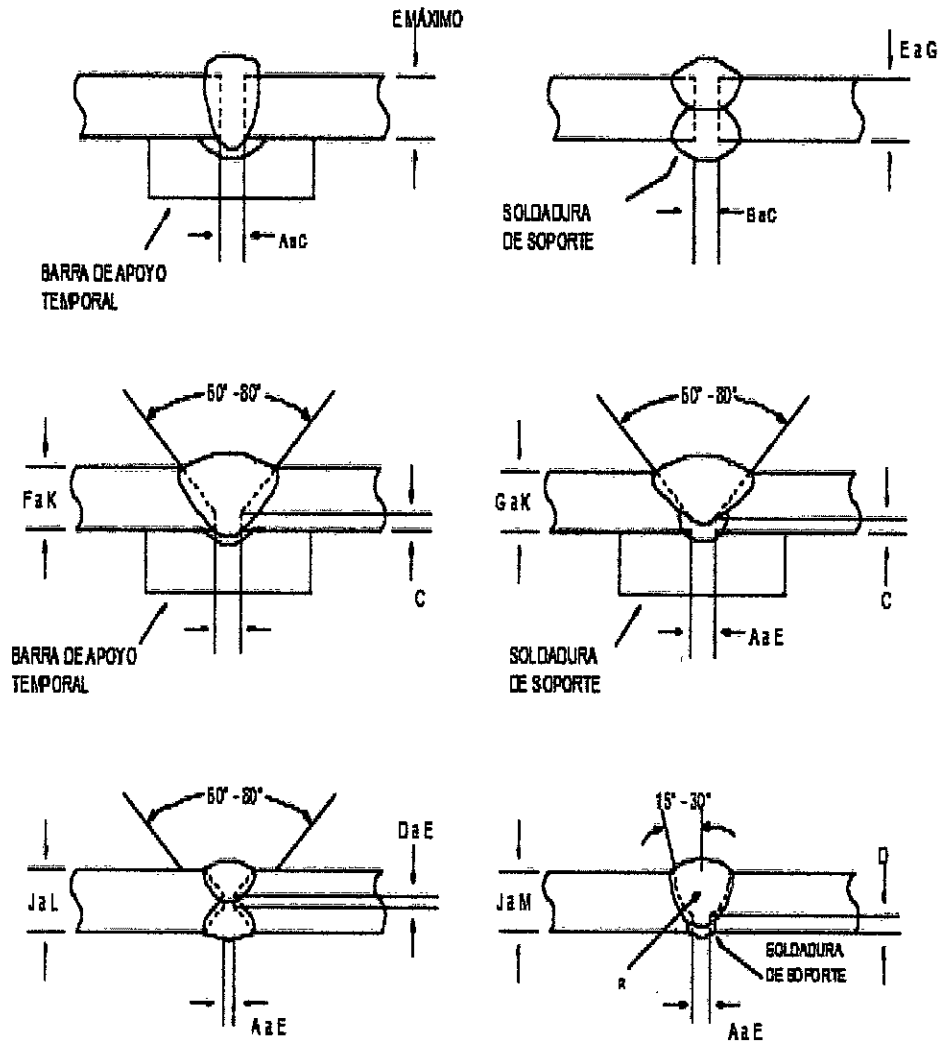
PROCESOS DE SOLDEO RECOMENDABLES PARA DIFERENTES ALEACIONES

Aleacion	Numero UNS	Procesos			
		SMAW	GTAW / PAW	GMAW	SAW
<b>Niquel puro comercialmente</b>					
200	N02200	X	X	X	X
201	N02201	X	X	X	X
<b>Aleacion de niquel soluciones solidas (grano fino)</b>					
400	N04400	X	X	X	X
404	N04404	X	X	X	X
R-405	N04405	X	X	X	---
X	N06002	X	X	X	---
NICR80	N06003	X	X	---	---
NICR60	N06004	X	X	---	---
G	N06007	X	X	X	---
RA 333	N06333	---	X	---	---
600	N06600	X	X	X	X
601	N06601	X	X	X	X
625	N06625	X	X	X	X
20Cb3	N08020	X	X	X	X
800	N08800	X	X	X	X
825	N08825	X	X	X	---
B	N10001	X	X	X	---
C	N10002	X	X	X	---
N	N10003	X	X		
<b>Aleaciones de niquel precipitacion endurecible</b>					
k-500	N05500	---	X	---	---
Waspaloy	N07001	---	X	---	---
R-41	N07041	---	X	---	---
80A	N07080	---	X	---	---
90	N07090	---	X	---	---
M252	N07252	---	X	---	---
U-500	N07500	---	X	---	---
718	N07718	---	X	---	---
X-750	N07750	---	X	---	---
706	N09706	---	X	---	---
901	N09901	---	X	---	---

Fuente: CESOL (Asociación española de soldadura y tecnologías de unión)



FIGURA N° 4  
DISEÑO DE UNIONES A TOPE



Nota:  $A = 0$  in. (0 mm);  $B = \frac{1}{32}$  in. (0.8 mm);  $C = \frac{1}{16}$  in. (1.6 mm);  $D = \frac{3}{32}$  in. (2.4 mm);  $E = \frac{1}{8}$  in. (3.2 mm);

$F = \frac{3}{16}$  in. (4.8 mm);  $G = \frac{1}{4}$  in. (6.4 mm);  $H = \frac{5}{16}$  in. (7.9 mm);  $J = \frac{1}{2}$  in. (12.7 mm);  $K = \frac{5}{8}$  in. (15.9 mm);

$L = 1 \frac{1}{4}$  in. (31.8 mm);  $M = 2$  in. (50.8 mm);  $R = \frac{3}{16}$  a  $\frac{5}{16}$  in. (4.8 a 7.9 mm).

Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

### **4.5.3 Proceso GTAW (Gas tungsten arc Welding)**

El proceso GTAW se usa ampliamente para soldar las aleaciones de níquel, sobre todo para espesores pequeños y donde los restos de escoria son intolerables.

Como protección en general se usan el argón y el helio, o ambos a la vez. Las características del arco, así como la introducción del arco dependen del gas que se utilice en ese momento. La elección del gas se debe realizar tras los debidos ensayos que se hagan para una determinada operación. El argón se usa normalmente en la soldadura con GTAW.

El helio ha demostrado que se comporta mejor en algunos aspectos para la soldadura de secciones finas sin material de aportación, ya que permite soldar con mayor velocidad de avance. Con corriente continua y polaridad directa, la velocidad de avance puede aumentarse hasta un 40% con helio respecto al argón a igualdad de corriente. Sin embargo, el inicio del arco es más complicado en el caso del helio que con argón, y la estabilidad es más complicada para soldar en espesores pequeños sobre todo.

El caudal de gas debe ser el adecuado para que no den turbulencias, pero proteja bien el cordón. El helio por su menor densidad precisa mayores caudales que el argón

Durante la soldadura, la raíz de la junta debe protegerse de la atmósfera para prevenir la oxidación del material de aportación y de

la base. Se puede hacer purgando la zona mediante la introducción del mismo gas que se usa para proteger la soldadura, o también en cámaras.

La estabilidad del arco es óptima cuando el electrodo de wolframio puro o con 2% de torio si el afilado es el adecuado. La corriente continua con polaridad directa es la más recomendable tanto para soldadura manual u orbital. La corriente alterna se puede usar en la orbital siempre que se vaya a controlar muy de cerca el proceso. Si se va a soldar con corriente alterna se debe solapar una corriente de alta frecuencia para así poder estabilizar el arco. El roce del electrodo con la pieza para iniciar el arco puede contaminar la punta de wolframio, lo que posteriormente dará problemas en la pieza, pero si existe esta corriente superpuesta no es necesario hacer este proceso.

La longitud del arco debe ser la mínima posible para que el arco sea estable y para asegurarlo; cuando se utiliza material de aportación se permite un arco eléctrico más largo para permitir la correcta manipulación de la varilla y su acceso al baño de fusión, con una extensión de electrodo de unos 5-13 mm. Un arco eléctrico largo da lugar a poros. El baño no se debe agitar por las fuerzas eléctricas creadas y el flujo de gas, ya que de otra manera se pierden los elementos desoxidantes. La punta de la varilla que se suelda debe estar también protegida por el gas para evitar la oxidación y la

consecuente contaminación del cordón formado. La velocidad inadecuada, ya sea superior o inferior a la que se debe aplicar, siempre incrementa la porosidad.

La velocidad de soldadura también afecta a la porosidad en el cordón en algunas aleaciones. En general, la porosidad estará bajo mínimos en el caso de soldar en el rango adecuado de rapidez. (CESOL, 2013, tema 2.19, pp.19-20)

**a) Materiales:**

Los materiales utilizados en este tipo de proceso son el metal de aporte, el gas de protección y el electrodo de tungsteno, el cual no se consume durante la soldadura.

El metal de aporte debe ser, en general, de una composición similar a la del metal base.

El diámetro del alambre se selecciona de acuerdo al espesor del material a soldar.

Algunas de las especificaciones que prescriben los requerimientos de las varillas y el electrodo de tungsteno utilizadas en este proceso de soldadura son:

SFA-5.12- Especificaciones para electrodos de tungsteno y óxidos de tungsteno disperso para soldadura y corte.

SFA-5.14 – Especificación de níquel y aleaciones de níquel para varillas desnudas para soldadura.

El gas de protección utilizado en este proceso de soldadura es normalmente inerte; es decir, que no reacciona con otros elementos para formar compuestos. Los gases más utilizados son el Helio y el Argón, siendo este último el más común. Es importante mencionar, que los gases utilizados en los procesos de soldadura con protección de gas deben ser de alta pureza. El Argón utilizado para soldadura debe tener una pureza superior al 95%. La humedad en estos gases puede originar porosidades y/o agrietamiento de la soldadura en algunos materiales.

El electrodo utilizado no es consumible. Se utiliza Tungsteno como material del electrodo debido a su alto punto de fusión y habilidad de emitir electrones. El ASME sección II parte C, lo tiene estandarizado este tipo de electrodos mediante la especificación SFA-5.12. (Cesol, 2013, tema 1.7)

**b) Identificación de los Electrodo y del Material de Aporte:**

El electrodo no consumible del proceso GTAW forma conjuntamente con el metal base el arco eléctrico requerido para la generación de calor, a objeto de producir la fusión del metal base. Se pueden emplear tres tipos de electrodos diferentes: Tungsteno puro, Tungsteno aleado con Torio y Tungsteno aleado con Circonio.

Los materiales de aporte para aleaciones de níquel deben cumplir los requerimientos del ASME sección II parte C, dentro de la especificación SFA-5.14. (CESOL, 2013, tema 1.7)

**c) Aplicaciones:**

Este proceso de soldadura se utiliza para producir uniones de excelente calidad en diversos tipos de metales. La buena visibilidad que se obtiene durante el proceso de soldadura le permite al soldador mantener un buen control de la operación.

El método manual es el que tiene mayor aplicación actualmente; sin embargo, la utilización de métodos automáticos se incrementa cada vez más.

El proceso GTAW se utiliza frecuentemente en juntas donde se requiere penetración completa, y solo un lado de la unión es accesible para la realización de la soldadura. Esto se observa en la soldadura de tuberías, en donde el pase de raíz se realiza con GTAW y el resto de la soldadura puede completarse con GTAW, SMAW, FCAW. (CESOL, 2013 tema 1.7)

**4.5.4 Característica de la soldadura para tuberías.**

La soldadura para tuberías presenta características únicas, ya sea a tope o a filete, su forma cilíndrica y, por lo general, el difícil acceso

a su interior, ha generado una familia de tipos de uniones de alta calidad para condiciones extremas.

Entre las características más importantes para soldaduras en tuberías encontramos:

- a) Zonas de la unión soldada
- b) Diseño de la junta.
- c) Terminología.
- d) Número de pasadas.
- e) Velocidad de soldeo.
- f) Posiciones de soldeo.

A continuación una breve explicación de las características anteriormente mencionadas

#### **a) Zonas de la unión soldada**

Las uniones soldadas presentan tres zonas altamente identificadas, estas son: el cordón, la zona afectada por el calor y el metal base. A continuación una breve explicación de estas:

##### **a.1. Cordón de soldadura**

Es la región que ha sido fundida durante el proceso de soldadura y su composición química depende de la composición del metal base y del metal de aporte (en caso de que lleve), así como de la relación que exista entre la cantidad de metal base fundida, y la cantidad de

material de aporte entregada durante la soldadura. Adicionalmente, elementos presentes en el área de la soldadura pueden afectar la composición del depósito si estos entran en contacto con el metal fundido. (AWS A3.0, 2001) (Véase la figura N° 5, en la página 37)

**a.2. Zona afectada por el calor (ZAC):**

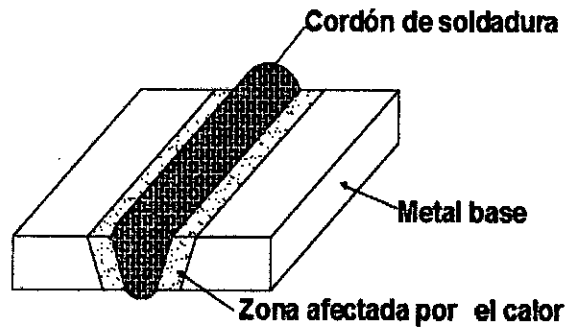
Es aquella zona del metal base que por estar adyacente al metal fundido, es afectada por el calor generado durante el proceso de soldadura. Esta zona se define frecuentemente en función de su dureza o su microdureza. Los fenómenos metalúrgicos que ocurren en esta zona son determinados por los ciclos térmicos que sufre el material. . (AWS A3.0, 2001)

**a.3. Metal base:**

La tercera zona que compone una unión soldada es el metal base propiamente dicho. La mayoría de los materiales que se utilizan hoy en día son soldables. La selección de un material para una aplicación que involucra soldadura requiere que se considere su soldabilidad. . (AWS A3.0, 2001)



**FIGURA N° 5**  
**ZONAS DE LA SOLDADURA**



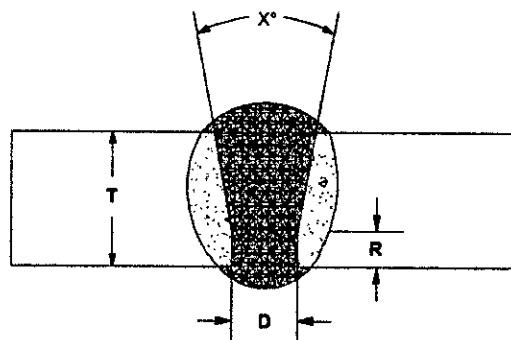
Fuente: AWS A3.0

### b) Diseño de la junta

Se entiende por junta el espacio existente entre las superficies que van a ser unidas por soldadura.

El proceso de soldeo, tipo de material, geometría de las piezas y particularmente el espesor, son los principales factores a tener en cuenta para el diseño de la junta. . (AWS A3.0, 2001) (Véase la figura N° 6)

**FIGURA N° 6**  
**DISEÑO DE LA JUNTA**



Fuente: AWS A3.0

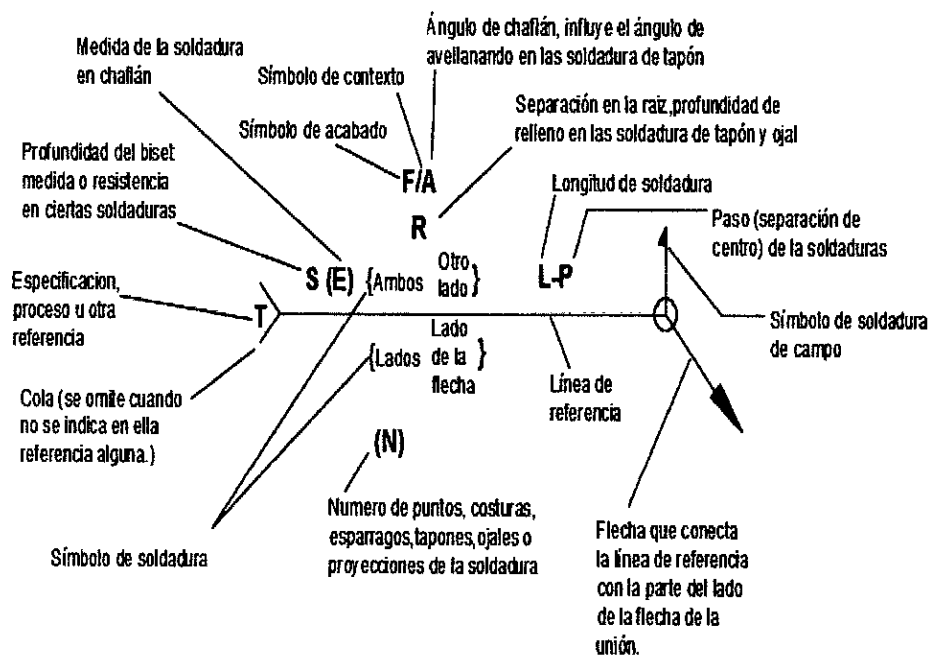
**c) Terminología.**

La terminología utilizada como se indica en la figura (véase la figura N° 7, en la página 38)

**d) Número de pasadas**

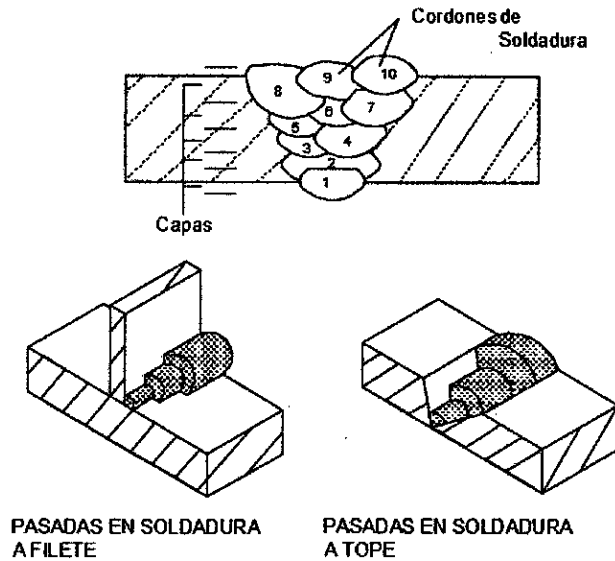
El número de pasadas es el número de veces que se ha tenido que recorrer longitudinalmente la unión hasta completarla. Como resultado de cada pasada se obtiene un cordón de soldadura. . (AWS A3.0, 2001), (Véase la figura N° 8, en la página 39)

**FIGURA 7  
TERMINOLOGÍA DE SOLDADURA**



Fuente: AWS A3.0

**FIGURA N° 8**  
**NUMERO DE PASADAS**



Fuente: AWS A3.0

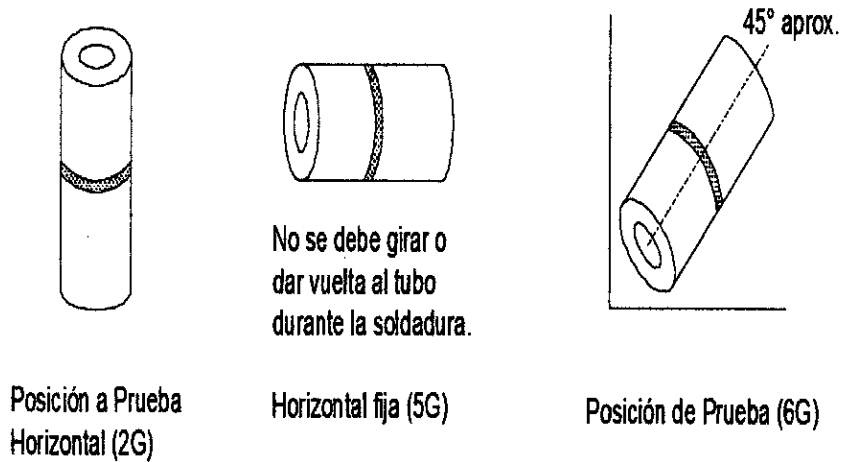
**e) Velocidad de soldeo**

La velocidad de soldeo es la longitud del cordón depositado en la unidad de tiempo. Normalmente se mide en cm/min. o en pulg/min. Por lo tanto, es la velocidad con que se avanza a lo largo de la unión. (AWS A3.0, 2001).

**f) Posición de soldeo.**

Se muestran las diferentes posiciones de soldadura en ranura para tubos y tuberías, según las especificaciones de la AWS. (AWS A3.0, 2001), (Véase la figura N° 9, en la página 40)

**FIGURA 9**  
**POSICION DE SOLDEO SEGÚN LA AWS**



Fuente: AWS A3.0

#### 4.5.5 Código ASME, sección IX

El Código ASME fue creado en 1911 por la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, (ASME por sus siglas en inglés); es una norma internacionalmente reconocida y aplicada en las industrias dadas su gran versatilidad, comprobada confiabilidad y excelencia en los resultados obtenidos a través de los años.

Esta sección trata de la Calificación de Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar tanto para las soldaduras convencionales (QW por sus siglas en Inglés)

Ambas partes se subdividen en cuatro artículos, estos son:

- Art. I: Requerimientos generales.

- Art. II: Calificación de Procedimientos.
- Art. III: Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar.
- Art. IV : Registros

(CESOL, 2013, TEMA 4.12.2)

**a) Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).**

Un WPS Calificada en es una guía que proporciona toda la información necesaria para la elaboración de las soldaduras de piezas que estén avaladas dentro de su rango de aprobación. Este WPS debe expresar de forma clara y precisa todas las variables esenciales y, en caso de ser necesarias, las esenciales suplementarias. Si se requiere realizar un cambio en alguna variable contenida en el WPS, se puede hacer siempre y cuando esta sea no esencial, en caso contrario se necesita obligatoriamente recalificar el procedimiento. No hay un formato estricto para los WPS, este puede variar significativamente de un fabricante a otro, siempre y cuando satisfaga sus propias necesidades y exprese toda la información relevante. Siempre que se vaya a realizar una unión utilizando en Procedimiento en específico, este debe estar a la entera disposición para todo el personal que lo requiera, garantizando de esta forma que no habrá razón para un error en el cumplimiento del procedimiento. (ASME, 2015, SECCION IX)

**b) Registro de calificación del procedimiento (PQR).**

Un Registro de Calificación de Procedimientos es al aval del WPS en cuestión, este debe mostrar los datos específicos de los valores que se usaron en la elaboración del o los cupones de pruebas, así como los resultados de los ensayos que se les realizaron a las probetas. El PQR debe indicar claramente todos los valores de las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar la unión soldada. Dado que es un registro de un procedimiento, no se permite realizarle ninguna modificación, la cual afectaría la veracidad de los resultados. Al igual que los WPS, no hay un formato predeterminado, simplemente se utiliza el que mejor satisfaga los requerimientos del fabricante, del laboratorio y de los inspectores. Dado que estos registros soportan toda la información de los WPS, tienen que estar a la disposición del personal autorizado que lo solicite, no necesariamente deben estar disponibles para el o los soldadores. (ASME, 2015, SECCION IX)

**c) Números P y números de grupo.**

Para reducir el número de procedimientos de soldadura calificados requeridos, a los metales se les ha asignado unos Números P y para metales base ferrosos los cuales tienen especificados pruebas de impacto, se les asignan además, Números de Grupo dentro de los

Números P. Estas asignaciones son basadas esencialmente sobre características comparables del metal base tales como composición, soldabilidad y propiedades mecánicas, donde esto pueda ser lógicamente realizado; estas asignaciones no implican que los metales bases puedan ser sustituidos indiscriminadamente sin tomar en cuenta consideraciones de compatibilidad desde el punto de vista metalúrgico, así como requerimientos de tratamientos térmicos posteriores a la soldadura, diseño, propiedades mecánicas y requerimientos de servicio.

Los Números P, así como los Números de Grupo, se listan en el Código ASME, Sección IX. (ASME, 2015, SECCION IX)

**d) Números F.**

La siguiente agrupación de Números F abarca los electrodos y varillas para soldar, esta clasificación esta ideada para reducir el número de Procedimientos y Soldadores a calificar, donde esto sea factible hacerlo. Estas asignaciones no implican que los metales bases puedan ser sustituidos indiscriminadamente sin tomar en cuenta consideraciones de compatibilidad desde el punto de vista metalúrgico, así como requerimientos de tratamientos térmicos posteriores a la soldadura, diseño, propiedades mecánicas y requerimientos de servicio.

Los Números F se listan en la Sección IX del Código ASME. .  
(ASME, 2015, SECCION IX).

**e) Números A.**

Los Números A aplican única y exclusivamente a los metales ferrosos. Esta clasificación está dada al cordón de soldadura según su composición química.

Los Números A se listan en la Sección IX del Código ASME.  
(ASME, 2015, SECCION IX)

**f) Variables de la soldadura.**

Existen variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales que dependen del equipo a utilizar y las condiciones de soldeo. A continuación una breve explicación de ellas. Se muestran las Variables y su importancia en el GTAW. (ASME, 2015 SECCION IX) (Véase la tabla N° 3, en la página 46)

**g) Variables esenciales:**

Son variables que caracterizan un WPS, un cambio en alguna de ellas podría afectar las propiedades mecánicas de la junta y por lo tanto requeriría una nueva calificación. (ASME, 2015, SECCION IX)



**h) Variables esenciales suplementarias:**

Son variables que en caso de ser cambiadas modifican cierta propiedad de la junta, que en caso de ser requerida se debe tomar muy en cuenta a la hora de diseñar el WPS. (ASME, 2015, SECCION IX”)

**i) Variables no esenciales:**

Son variables cuyos cambios no afectan las propiedades mecánicas de la junta, por lo que se pueden modificar a gusto del operador o según las facilidades del equipo. (ASME, 2015, SECCION IX)

TABLA N° 3

VARIABLES ESPECÍFICAS DEL PROCESO GTAW

Variable de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPs) para proceso GTAW				
Parralo	Condicion de la variable	Esencial	Esencial suplementaria	No Esencial
QW-402 Jurta	402.1	φ Diseño de ranura		X
	402.5	- Respaldo		X
	402.10	φ Separacion de raíz		X
	402.11	± Retenedores		X
QW-403 Metal Base	403.5	φ N° de Grupo		X
	403.6	Límites de T		X
	403.8	φ Espesor Calificado	X	
	403.11	φ N° P Calificado	X	
QW-404 Metal de Aporte	403.13	φ N° P 5.9 O 10	X	
	404.3	φ Tamaño		X
	404.4	φ N° F	X	
	404.5	φ N° A	X	
	404.12	φ Clasificacion AWS		X
	404.14	± Aporte	X	
	404.22	± Consumibles		X
	404.23	φ Forma de producto de metal de refie	X	
	404.30	φ Espesor (t)	X	
	404.33	φ Clasificacion		
QW-405 Posicion	404.50	φ Fundente		
	405.1	+ Posicion		X
	405.2	φ Posicion		X
QW-405 Precalentamiento	405.3	φ ↑ Progresion		X
	405.1	Disminuir > 100°F (55°C)	X	
QW-407 T.T. de Alivio de Tensiones	405.3	Aumentar > 100°F (55°C) (IP)		X
	407.1	φ PWHT	X	
	407.2	φ PWHT		X
QW-408 Gas	407.4	Espesor limite	X	
	408.1	± Trail o φ Composicion		X
	408.2	φ Simple , Mezcla %	X	
	408.3	φ Velocidad de flujo		X
	408.5	± 0 φ de flujo de respaldo		X
	408.9	- Respaldo o φ de Composicion	X	
QW-409 Características Eléctricas	408.10	φ Proteccion	X	
	409.1	> Entrada de calor		X
	409.3	± Intensidad de corriente Pulsante		X
	409.4	φ Corriente o Polaridad		X
	409.6	φ Rango de intensidad y voltaje		X
QW-410	409.12	φ Electrodo de tungsteno		X
	410.1	φ Recto / Ondulado		X
	410.3	φ Ormido, copa, o tamaño de boquilla		X
	410.5	φ Metodo de limpieza		X
	410.6	φ Metodo de ranurado atras		X
	410.7	φ Oscilacion		X
	410.9	φ Pasado simple a multiple		X
	410.10	φ Electrodo simple a multiple		X
	410.11	φ De camara cerrada a abierta	X	
	410.15	φ Separacion del electrodo		X
410.25	φ Manual o automatico		X	
410.25	± Martillado		X	
410.64	Uso de procesos termicos	X		
+ Aumento		> Incremento / mayor que		
- Disminucion		< decremento / menor que		
φ Cambio				

Fuente: ASME sección 2015

#### **4.5.6 Ensayos no destructivos.**

La inspección empleando ensayos no destructivos, tal y como su nombre lo indica, no destruyen la pieza, estructura o soldadura, y están orientados a la detección de discontinuidades que vayan a limitar las condiciones de servicio de los equipos, piezas o estructuras; es decir, los ensayos no destructivos sirven para determinar la calidad de los materiales, piezas o soldaduras.

Los criterios de aceptación y rechazo de las discontinuidades presentes en el material vienen determinados en este código y por la experiencia del usuario o inspector que ejecute el ensayo. En general la selección del tipo de ensayo será función de:

- Tipo y origen de la discontinuidad.
- Proceso de manufactura.
- Accesibilidad.
- Nivel de sensibilidad requerido.
- A continuación se describen los ensayos utilizados por excelencia para las uniones soldadas en tuberías.

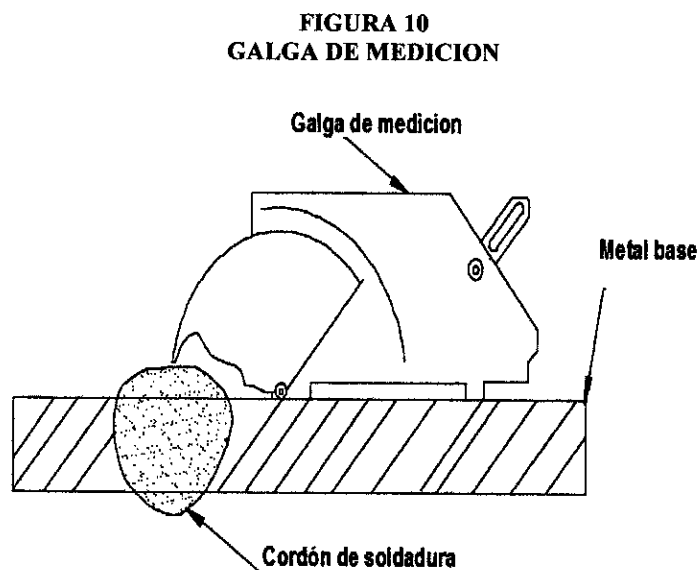
##### **a) Inspección visual.**

Es el ensayo no destructivo de mayor aplicación, y en donde el equipo principal lo conforma el ojo humano. Es de fácil y rápida aplicación, relativamente económico y no requiere de equipo especial, solo se debe poseer una buena visión. Adicionalmente se

puede utilizar la galga de medición como instrumento de ayuda. A fin de facilitar la comprensión de este ensayo, se describen a continuación los aspectos más importantes del mismo.

**a.1) Prácticas en la inspección visual:**

A la hora de la inspección, la soldadura debe estar lo suficientemente iluminada, esto puede lograrse mediante el uso de lámparas o linternas. En las paredes de difícil acceso, pueden usarse equipos especiales, tales como baroscopios, cámaras fotográficas, espejos, etc. Hay equipos que al final de su fabricación presentan soldaduras inaccesibles para ser inspeccionadas, en este caso las soldaduras deben inspeccionarse durante el proceso de fabricación. (Véase la figura N° 10)



Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

### **a.2) Inspección antes de empezar a soldar**

La inspección debe iniciarse con el examen de los materiales a ser soldados, esta práctica puede eliminar condiciones que tiendan a inducir defectos en la soldadura. Oxido, rebabas, laminación y otras condiciones superficiales, que puedan originar defectos en la soldadura final, deben ser detectados en la inspección visual. Así mismo, se deberá detectar cualquier diferencia existente entre las dimensiones del producto armado y las especificaciones en los dibujos o planos de fabricación. Se deberá determinar si estas diferencias exceden las tolerancias de fabricación permitidas.

Una vez que las partes a soldar han sido ensambladas, el inspector debe verificar los siguientes puntos contra lo establecido en las especificaciones aplicables:

- Procedimiento de soldadura.
- Limpieza.
- Metal de aporte.
- Preparación de la junta, dimensiones y acabado.
- Gases y polvos protectores.
- Colocación de respaldos.
- Pre calentamiento y temperatura entre pases.
- Alineación.
- Control de distorsión.
- Tratamiento de limpieza entre pases (cepillo, esmeril, etc.)

- Intervalos de inspección.
- Tratamiento térmico posterior a la soldadura.

### **a.3) Inspección durante el proceso de soldadura**

Durante la soldadura de la unión, la inspección del primer pase o pase de raíz es muy importante, ya que la calidad final depende en gran parte de éste. La inspección del primer pase ofrece la oportunidad de detectar laminación en el material base, ya que al introducir calor a la junta, la laminación tiende a abrirse.

Similar atención debe prestarse a cada uno de los pases sucesivos envuelto en el proceso de soldadura.

### **a.4) Inspección después del proceso de soldadura**

La inspección visual después del proceso de soldadura es de gran ayuda en el control de calidad de productos acabados, ya que permite verificar puntos tales como:

- Exactitud dimensional del producto soldado (incluyendo distorsión).
- Conformidad con los dibujos o planos.
- Aceptabilidad de la apariencia de la soldadura (rugosidad superficial, salpicaduras, etc.).

- Presencia de discontinuidades (cráteres, grietas, solape, socavaciones, etc.).
- Desalineación con respecto a marcas de referencia.
- Esmerilado excesivo.
- Gráficas de temperatura y tratamiento térmico.

Para una mejor detección de estas discontinuidades la superficie a inspeccionar debe estar completamente libre de óxidos, escoria, grasas o marcas de martillo dejadas después de limpiar la escoria, ya que pueden ocultar grietas finas. (CESOL, 2013, tema 4.8.1)

#### **b) Inspección por radiografía**

Un procedimiento detallado debe establecerse y registrarse. Las películas radiográficas producidas mediante el uso de este procedimiento deben tener la densidad, claridad y contrastes requeridos para su aceptación siguientes criterios deben observarse para evaluar las imágenes.

Una calidad de imagen aceptable que esté libre de niebla y de irregularidades de procesado que pudieran enmascarar la imagen de imperfecciones reales. (CESOL, 2013, tema 4.8.4“)

#### **4.5.7 Ensayos destructivos**

Son aquellos ensayos o análisis que originan la destrucción de la pieza o por lo menos de una parte de ella. Su función es comprobar

la aptitud de los materiales para su empleo; es decir, que sus propiedades mecánicas o químicas, cumplan con los requisitos establecidos para el servicio que serán sometidos. Son utilizados para calificar los procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de máquinas de soldar, así como para determinar las propiedades mecánicas y metalúrgicas tanto del material base como del material de aporte.

A continuación se presenta una descripción general de los ensayos destructivos más utilizados. (CESOL, 2013, tema 2.23)

**a) Ensayo de tracción.**

La prueba de tracción es la que se realiza con más frecuencia para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Consiste en aplicar esfuerzos de tensión a un material hasta su ruptura, durante un periodo relativamente corto. Los esfuerzos de la muestra o cupón y el alargamiento de esta, se miden continuamente a medida que aumenta la carga. El esfuerzo al cual se somete el cupón se haya dividiendo la fuerza aplicada por el área transversal de la misma y la deformación se obtiene dividiendo el alargamiento total por una longitud inicial de referencia. Como resultado de este ensayo se obtiene un diagrama esfuerzo deformación.

Las variables que deben ser controladas durante la ejecución del ensayo son las siguientes:



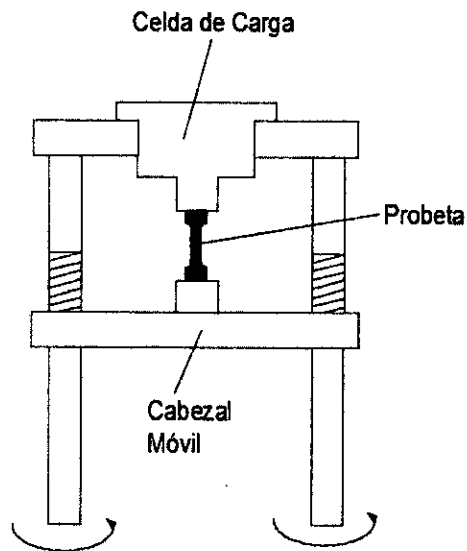
- Tipo de cupón.
- Número, geometría y dimensiones del cupón.
- Calibración del equipo de ensayo.
- Posicionamiento del cupón.
- Velocidad de aplicación de la carga.
- Los datos que se obtienen de este ensayo son los siguientes:
- Carga máxima a la tracción (N; lbf)
- Esfuerzo máximo (Mpa; PSI)
- Reducción de área (en porcentaje %)
- Elongación (en porcentaje %)
- Localización de la fractura

(CESOL, 2013, tema 2.23).

Se puede ver el esquema del ensayo de tracción. (Véase la figura N° 11, en la página 54).

El inspector debe verificar que los valores obtenidos durante el ensayo de tracción cumplan con los requisitos del ASME sección IX.

**FIGURA N° 11**  
**BANCO DE ENSAYO UNIVERSAL**



Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

**b) Ensayo de doblado.**

El objetivo básico del ensayo de dobles es determinar la calidad y ductilidad de la soldadura. Se realiza doblando un cupón en forma de U para luego evaluar la superficie doblada. Este ensayo es requerido para calificar procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de máquinas de soldar.

Existen cinco tipos de ensayos de dobles, los cuales son:

- Doblado Transversal de Cara.
- Doblado Transversal de Raíz.
- Doblado Transversal de Lado.
- Doblado Longitudinal de Cara.

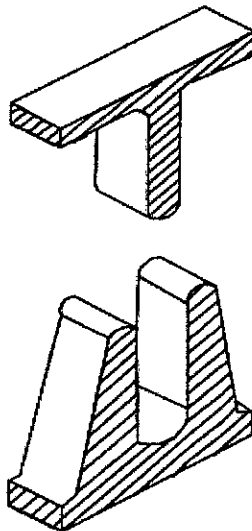
- Doblado Longitudinal de Raíz.

Los datos que se obtienen de este ensayo son los siguientes:

- Angulo de doblado.
- Localización y características de la fractura (si la hubiera).
- Número y caracterización de los defectos.

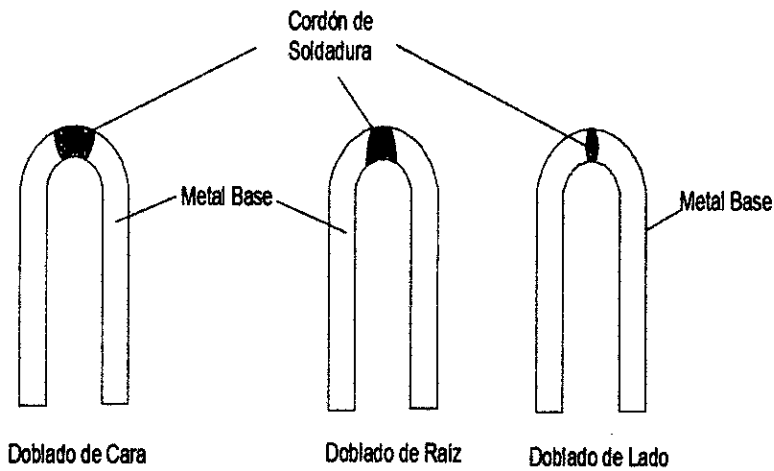
En soldadura, para este ensayo, generalmente se exige un ángulo de doblado de  $180^\circ$  y no deben aparecer grietas mayores de  $1/8$  de pulgada (3,2mm) en la cara convexa del cupón. (ASME, 2015, sección IX). (Véase las figuras N° 12 y 13, en la página 55 y 56)

**FIGURA N° 12**  
**MAQUINA DE DOBLADO**



Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

**FIGURA N° 13  
PROBETA DE DOBLADO**



Fuente: CESOL (Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión)

#### **4.6. Fases del proyecto**

Este procedimiento experimental se llevó a cabo con la intención de elaborar y evaluar un procedimiento de soldadura en tuberías de Incoloy 800; tuberías altamente utilizadas para el transporte de hidrogeno en las plantas petroquímicas del extranjero.

Con la calificación del procedimiento de soldadura queda automáticamente calificado el soldador, el cual posee una amplia experiencia en el ramo.

Para la realización de este informe de experiencia laboral se realizó en cuatro fases en la siguiente parte:

- Planificación detallada
- Ejecución
- Seguimiento y control

- Cierre

A continuación se detalla cada uno de las fases mencionadas líneas arriba.

#### **4.6.1 Planificación detallada**

En esta parte se describirá como se abordara la elaboración del procedimiento de soldadura y se establecerá un diagrama de flujo para poder visualizar la secuencia de cómo se realizaran las actividades. (Véase la figura N° 14, en la página 68)

##### **Material:**

Debido a que el incoloy 800, no es un material muy utilizado en el medio local se tiene que saber lo siguiente:

- Propiedades mecánicas
- Propiedades químicas

También cómo se comporta el incoloy 800, durante la soldadura y que consideraciones se debe tener para poder realizar la soldadura.

##### **Soldadura:**

Qué proceso de soldadura adecuado para soldar este material dentro de los cuales se tiene los siguientes procesos de soldadura.

- SMAW
- FCAW
- GMAW
- GTAW
- SAW

Se revisó cuál de los procesos mencionados es el más recomendado para poder realizar la soldadura de gran calidad y con menor aporte térmico.

#### **ASME SECCION IX:**

Para la calificación del procedimiento de soldadura se tienen que seguir el lineamiento de un código reglamentario y según las normativas indicadas por el cliente. La parte QW de la norma se divide:

- Art. I: Requerimientos generales.
- Art. II: Calificación de Procedimientos.
- Art. III: Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar.
- Art. IV : Datos de soldadura

Para la elaboración del instructivo procedimiento específico de soldadura (WPS) y registro de calificación de procedimiento (PQR) se revisaron los artículos I, II y III, los cuales proporcionaran las consideraciones adicionales y criterios de aceptación para los respectivos ensayos no destructivos y destructivos.

A continuación se dará una explicación cómo será el desarrollo de los instructivos procedimiento específico de soldadura (WPS) y calificación de procedimiento (PQR), fueron diseñados basándose en

las necesidades de la empresa y siguiendo las recomendaciones dadas en la Sección IX del Código ASME.

Los formatos finales, así como una breve explicación de sus partes, se consiguen a continuación.

**a) Formato Procedimiento específico de soldadura (WPS).**

**Parte A-1:** En el margen superior izquierdo se observa claramente el logotipo y nombre de la empresa. Seguidamente se identifica la división de esta en la cual aplican los procedimientos. Más abajo se enumera el procedimiento, esta identificación consta, de tres números los cuales indican el número de serie que se le dará al WPS, según se han ido elaborando. Igualmente se indica el PQR que acompaña dicho procedimiento, así como la última revisión, quien la realizó y quien la aprobó. Por último conseguimos indicado el o los procesos de soldadura utilizados, en orden ascendente (desde el pase de raíz hasta el de relleno o pase final), así como el tipo (manual, automático o semiautomático).

**Parte A-2:** Expresa todas las características de la Junta. Primeramente indica como es el diseño de la junta, si tiene o no respaldo, en caso de tenerlo cual es el material, si es fundible, no fundible, no metálico u otra especificación. Del lado derecho se representa la junta mediante un sencillo diagrama, indicando todas las medidas ideales y sus tolerancias

**Parte A-3:** Se identifica por completo al Metal Base. Indica los números P, así como los grupos de los metales a soldar, acompañado de la identificación ASME de ambas piezas. Al ser tuberías, se indican los rangos de espesores y diámetros que quedan calificados mediante este procedimiento

**Parte A-4:** Indica todo tipo de Material de Aporte a utilizar. Aclarando ampliamente que material se utilizará en cada pasada, desde la raíz hasta las de relleno.

**Parte A-5:** Aclara la Posición de Soldeo, el Pre calentamiento (en caso de necesitarlo) y el Tratamiento Térmico (en caso de requerirlo). El primer cuadro se refiere a la posición y tipo de avance en que se debe ejecutar la soldadura. El segundo cuadro expresa las condiciones a las cuales se debe realizar el pre calentamiento. El tercer y último cuadro indica las variables a controlar a la hora de realizar el tratamiento térmico.

**Parte A-6:** En esta parte se reflejan tanto las características del Gas de Protección como las Eléctricas. En el primer cuadro se expresan las variables del gas y la ubicación del mismo. En el segundo se indican todas las variables eléctricas, tipo de corriente, rangos de voltaje y amperaje, tipo y tamaño del electrodo de tungsteno, entre otros.




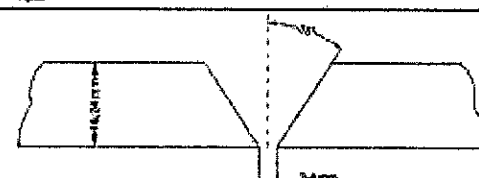
**Parte A-7:** Aquí se recomienda la mejor Técnica para la realización de la soldadura, así como las condiciones de limpieza que debe presentar la pieza.

**Parte A-8:** En este cuadro se representa un resumen sumamente importante de la secuencia que se debe seguir a la hora de soldar, expresa el orden de las pasadas, el proceso a utilizar y las variables a controlar.

**Parte A-9:** Este es el espacio para colocar cualquier otro punto, sugerencia, recomendación que sea bueno seguir a la hora tanto de preparar el equipo o la junta como a la hora de realizar la soldadura o cualquier otro proceso relacionado con esta.

Se muestra el formato específico de soldadura (Véase la tabla N° 4, en la página 62)

**TABLA N°4  
PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE SOLDADURA**

<b>PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE SOLDADURA (WPS)</b>										A-1																																																					
		WPS N°: _____ Separado por POR N° _____	Rev. _____ Fecha: _____	Realizado por _____ Aprobado por _____						A-1																																																					
Proceso (s) de soldadura: _____ Tipo: _____										A-2																																																					
<b>JUNTA (GW420)</b> Diseño de la junta: _____ Respaldo: SI _____ NO _____ Material de respaldo: _____ Metal: _____ Metal no fundible: _____ Material no metálico: _____ Otro: _____										A-2																																																					
<b>METAL BASE (GW-428)</b> P-N° _____ Grupo N° _____ a P-N° _____ Grupo N° _____ Especificaciones: _____ a Especificaciones: _____ Rango de espesores: _____ Tipo _____ Filete _____ Rango de diametro de tubería: _____ Tipo _____ Filete _____ Otras: _____										A-3																																																					
<b>METAL DE APORTE (GW-404)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1°</th> <th>2°</th> <th>3°</th> <th>4°</th> <th>Otras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificaciones (SFA) N°:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>F-N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>A-N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Diametro del metal de aporte:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Metal de aporte Rango de espesores:</td> <td>Tipo</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Otras:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>											1°	2°	3°	4°	Otras	Especificaciones (SFA) N°:						Clasificación AWS N°						F-N°						A-N°						Diametro del metal de aporte:						Metal de aporte Rango de espesores:	Tipo					Filete					Otras:						A-4
	1°	2°	3°	4°	Otras																																																										
Especificaciones (SFA) N°:																																																															
Clasificación AWS N°																																																															
F-N°																																																															
A-N°																																																															
Diametro del metal de aporte:																																																															
Metal de aporte Rango de espesores:	Tipo																																																														
	Filete																																																														
Otras:																																																															
<b>POSICION (GW-409)</b> posición de la junta a tope: _____ Avance del cordón: Ascend. _____ Descend. _____ Posición de la junta de filete: _____			<b>PRECALENTAMIENTO (GW-406)</b> Temp. Min. De precalentamiento: _____ Temp. Max. entre pases: _____ Precalentamiento mantenido: SI _____ No _____			<b>TRATAMIENTO TERMICO (GW-407)</b> Rango de temperatura: _____ Rango de tiempo: _____				A-5																																																					
<b>GAS DE PROTECCION (GW-432)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Composición</th> </tr> <tr> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Fijo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>De anillo</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>De respatido</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>					Composición			Gas	Mezcla	Fijo	Del cordón				De anillo				De respatido				<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (GW-438)</b> Corriente: AC _____ DC _____ Polaridad: _____ Amperaje (rango) _____ Voltaje (rango) _____ Tipo y tamaño de electrodo de tungsteno: _____ Modo de transferencia de metal GMAW: _____ Rango de velocidad de alimentación del alambre: _____						A-6																																		
	Composición																																																														
	Gas	Mezcla	Fijo																																																												
Del cordón																																																															
De anillo																																																															
De respatido																																																															
<b>TECNICA (GW-416)</b> Si: tipo o de Valves: _____ Metodo de respatido posterior: _____ Limpieza final y entre pases: _____ Oscilador: _____										A-7																																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pasado</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="3">Corriente</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance</th> <th rowspan="2">Otras</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diametro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amperaje (rango)</th> <th>Voltaje (rango)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>										Pasado	Proceso	Metal de aporte		Corriente			Velocidad de avance	Otras	Clasificación	Diametro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)																																					A-8			
Pasado	Proceso	Metal de aporte		Corriente			Velocidad de avance	Otras																																																							
		Clasificación	Diametro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)																																																									
Notas: _____ _____ _____										A-9																																																					

Fuente: El autor

## **b) Formato de registro de calificación de procedimiento (PQR)**

### **Primera página:**

Es prácticamente el mismo formato que el WPS, la diferencia es que nos indica los valores exactos y no los rangos, con que se llevaron a cabo los ensayos; dimensiones, amperajes, voltajes y demás variables son expresadas en forma precisa, de manera de poder reproducir las mismas condiciones en una soldadura futura. (Véase la tabla N° 5, en la página 66)

**Parte B-1:** En el margen superior izquierdo se observa claramente el logotipo y nombre de la empresa. Seguidamente se identifica la división de esta en la cual aplican los procedimientos. Más abajo se enumera el Reporte de Calificación del Procedimiento, esta identificación, al igual que en el caso de los procedimientos, consta de cuatro letras "HAUG" las cuales indican que es un PQR que soporta a un WPS de la empresa, le siguen tres números los cuales indican el número de serie que se le dará al PQR según se han ido elaborando. Igualmente se indica el WPS para la cual se realizó dicho registro y en qué fecha quedo aprobado.

**Parte B-2:** Ver las partes A-2 a la A-9 del WPS.

**Segunda página:** (Véase tabla N° 6, página 67)

**Parte B-3:** Ver la parte B-1 de la primera página del PQR.

**Parte B-4:** Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de tracción que se utilizaron para la calificación del procedimiento,

indicando claramente el número, dimensiones, esfuerzos soportados y lugar de fractura de las probetas utilizadas.

**Parte B-5:** Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de doblado que se utilizaron para la calificación del procedimiento, se indica el tipo de doblado y la figura según la Sección IX del Código ASME, colocando el resultado de cada prueba.

**Parte B-6:** Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de impacto charpy que se utilizaron para la calificación del procedimiento en caso sean requeridos, indicando claramente el número, dimensiones, temperatura a la cual se llevó a cabo la prueba y demás variables a controlar.

**Parte B-7:** Es un espacio dedicado a la colocación de cualquier comentario sobre las pruebas, ya sea para la preparación de las probetas, las especificaciones de la maquinaria a utilizar o cualquier otra variable que sea de importancia para el correcto desempeño de las pruebas.

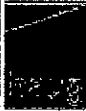
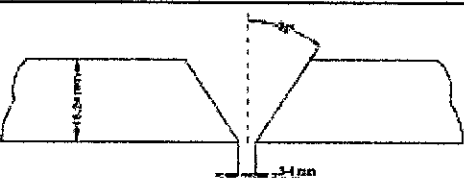
**Parte B-8:** En caso de que la soldadura sea a filete se pueden requerir algunas pruebas distintas a las anteriores, en este espacio se debe colocar qué tipo de ensayo se realizó y cuáles fueron los resultados.

**Parte B-9:** Este espacio está reservado a la identificación de pruebas excepcionales, indicando sus resultados.

**Parte B-10:** En esta parte se identifica al soldador o soldadores que realizaron la soldadura, así como el laboratorio que realizó las pruebas.


**Parte B-11:** Indica la fecha en que quedo registrado el Reporte de Calificación de Procedimiento así como la persona de la empresa que lo avala

**TABLA N° 5  
REGISTRÓ DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO  
PRIMERA PÁGINA**

<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)</b>																																																																					
		PQR N° _____ WFS N° _____	Rev. _____ Fecha: _____	Realizado por _____ Aprobado por _____						B-1																																																											
Proceso (s) de soldadura: _____					Tipo: _____																																																																
<b>JUNTA (QW-402)</b> Diseño de la Junta: _____ Respaldo: ST _____ No: _____ Material de respaldo: _____ Metal: _____ Metal no fundible: _____ Material no metálico: _____ Otro: _____																																																																					
<b>METAL BASE (QW-403)</b> P-N° _____ Grupo N° _____ a P-N° _____ Grupo N° _____ Especificaciones: _____ Especificaciones: _____ Rango de espesores: _____ Tipo: _____ Flete: _____ Rango de diámetro de tubería: _____ Tipo: _____ Flete: _____ Otros: _____																																																																					
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 10%;">1°</th> <th style="width: 10%;">2°</th> <th style="width: 10%;">3°</th> <th style="width: 10%;">4°</th> <th style="width: 10%;">Otras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificaciones (SFA) N°:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>F-N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>A-N°</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Rango de espesores:</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Tape</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Flete</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Otras</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>											1°	2°	3°	4°	Otras	Especificaciones (SFA) N°:						Clasificación AWS N°						F-N°						A-N°						Diámetro del metal de aporte:						Rango de espesores:						Tape						Flete						Otras					
	1°	2°	3°	4°	Otras																																																																
Especificaciones (SFA) N°:																																																																					
Clasificación AWS N°																																																																					
F-N°																																																																					
A-N°																																																																					
Diámetro del metal de aporte:																																																																					
Rango de espesores:																																																																					
Tape																																																																					
Flete																																																																					
Otras																																																																					
<b>POSICION (QW-405)</b> posición de la junta a tape: _____ Avance del cordón: Sup. _____ Inf. _____ Posición de la junta de flebe: _____			<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b> Temp. Mín. De precalentamiento: _____ Temp. Máx. entre pases: _____ Precalentamiento mantenido: SI _____ No _____			<b>TRATAMIENTO TERMICO (QW-407)</b> Rango de temperatura: _____ Rango de tiempo: _____				B-2																																																											
<b>GAS DE PROTECCION (QW-408)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Composición</th> </tr> <tr> <th>Gas</th> <th>Mixto</th> <th>Flejo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>De arco</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>				Composición			Gas	Mixto	Flejo	Del cordón				De arco				De respaldo				<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)</b> Corriente: AC _____ DC _____ Polaridad: _____ Amper (rango) _____ Volt (rango) _____ Tipo y tamaño de electrodo de tungsteno: _____ Modo de transferencia de metal (MMAV): _____ Rango de velocidad de alimentación del alambre: _____																																															
	Composición																																																																				
	Gas	Mixto	Flejo																																																																		
Del cordón																																																																					
De arco																																																																					
De respaldo																																																																					
<b>TECNICA (QW-410)</b> Clasificación de Valses: _____ Método de respaldo posterior: _____ Limpieza final y entre pases: _____ Clasificación: _____																																																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="3">Corriente</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance</th> <th rowspan="2">Otras</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amperaje (rango)</th> <th>Voltaje (rango)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>										Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente			Velocidad de avance	Otras	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)																																														
Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente			Velocidad de avance	Otras																																																													
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)																																																															
Notas: _____ _____ _____																																																																					

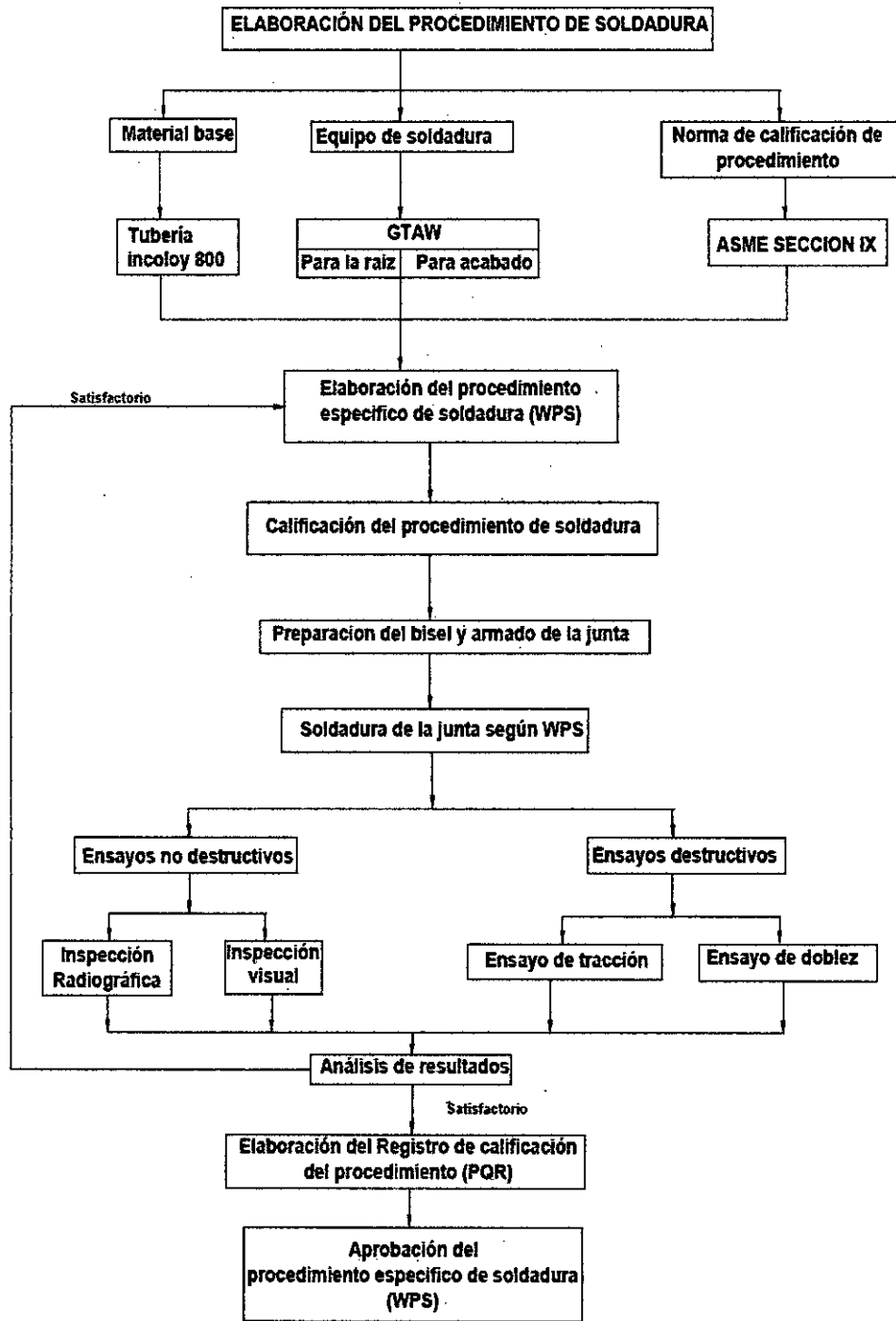
Fuente: El autor

**TABLA N° 6  
REGISTRÓ DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO  
SEGUNDA PÁGINA**

<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)</b>							
 PQR N° WPS N°		Rev. Fecha:		Realizado por Aprobado por			
<b>Pruebas de Tracción (QW-150)</b>							
Especimen N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (N)	Esfuerzo maximo (Mpa)	Tipo y lugar de fractura	
<b>Prueba de Doblez (QW-160)</b>							
Tipo y Figura N°			Dimensiones (ancho x largo x espesor) mm		Resultado	Observaciones	
<b>Prueba de tenacidad (QW-170)</b>							
Especimen N°	Ubicación de la muesca	Tamaño de espécimen	Temperatura de prueba	Valores de Impacto			Peso dependiente con freno
				F.Llts	% Corte	Espesor	
<b>Comentarios</b>							
<b>Prueba de soldadura de filete (QW-180)</b>							
Resultado satisfactorio:	Yes	No	Penetración completa:		SI	No	
Macro - análisis							
<b>Otras pruebas</b>							
Tipo de prueba							
Resultado del análisis							
Otros							
Nombre del soldador				Etiqueta N°:			
Inspección conducida por:				Laboratorio:			
Certificamos que las declaraciones en este expediente estan correctas y que las juntas de las pruebas fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la seccion IX del codigo ASME, edicion 2015							
Organización:							

Fuente: El autor

**FIGURA N° 14**  
**ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**



Fuente: El autor



#### **4.6.2 Ejecución**

En esta etapa se empieza con la elaboración del instructivo “procedimiento Específico de soldadura (WPS)”. Antes de realizar este instructivo se revisó en la parte de planificación detallada material, soldadura y código de la norma ASME IX, Las cuales fueron consideradas para el desarrollo del instructivo WPS.

En consideración a la planificación detallada se tiene la información siguiente:

- Las propiedades mecánicas y químicas del material y su comportamiento durante la soldadura y selección
- El proceso de soldadura a utilizar GTAW.
- El desarrollo de los instructivos WPS Y PQR

A continuación se detallara como es el desarrollo del procedimiento específico de soldadura (WPS)

##### **a) Elaboración del procedimiento específico de soldadura (WPS)**

Para la elaboración del WPS, se tomaron en cuenta primeramente las variables esenciales y esenciales suplementarias del proceso de soldadura, seguidamente se recolectó la información necesaria de las normas y recomendaciones para soldaduras de tuberías Incoloy 800.

La información contenida en esta especificación se explica siguiendo las pautas indicadas anteriormente en este trabajo.

**Parte A-1:** Como se explicó con anterioridad, en esta parte queda bien identificado la empresa. Igualmente se indica el número de procedimiento (632) indicando que es un WPS de HAUG el (632) identifica al procedimiento en una serie de WPS propios de la empresa. También se identifica el PQR en el cual se soporta este procedimiento de soldadura. Seguidamente se indica si se le ha realizado alguna revisión (Rev.0 indica que no se ha realizado ninguna) y la fecha en que quedó realizada este WPS, siendo en nuestro caso el día 19 de Octubre del 2015. Por último se muestra el nombre de quien redacta dicho informe, esto por haber sido yo quien elaboró esta especificación de procedimiento al contar con el conocimiento necesario (ver anexo 1). Más abajo se indican el proceso de soldadura que se utilizara y su tipo, siendo en nuestro caso el GTAW, manualmente.

**Parte A-2:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-402, el cual indica cómo se debe realizar la junta. Tomando como modelo una junta simple en V sin respaldo y permitiendo una separación máxima de raíz de 3 a 4 mm y un ángulo de bisel no mayor de 35°.

**Parte A-3:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-403. Para realizar la junta se tomó una tubería designada por la ASTM como SB407, comercialmente más conocida como Incoloy 800, Esta pertenece al Número P 45. Se escogió una

tubería de diámetro 30,48 cm (6 pulg.) y un espesor de Schedule 160 18.26 mm (0,719 pulg)”, mediante el cual se abarcan tuberías de diámetros mayores de 73 mm (2 7/8 pulg) y espesores desde 5 mm hasta 36.5 mm (3/16 hasta 1 1/2 de pulg). Esto es lo estipulado en el Código ASME, Sección IX, QW-450. (Ver anexo 2)

**Parte A-4:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-404. Para realizar la unión se utilizó el proceso de soldadura el GTAW para los pases de raíz y para los pases de relleno. Con esto se espera obtener una buena penetración, propiedades mecánicas superiores en la raíz, velocidad adecuada en la culminación del trabajo, entre muchas otras ventajas que se logran al realizar.

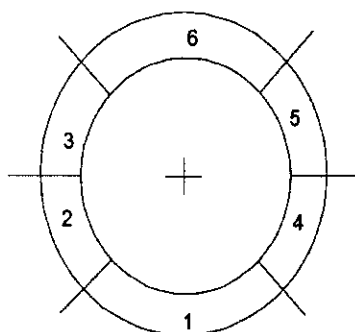
La varilla para soldar con el proceso GTAW se escogió siguiendo las recomendaciones del Código ASME, Sección II, Parte C, especificación SFA 5-14, en la tabla1 (Ver anexo 3), la cual indica que la varilla para soldar ERNiCr3, contiene de 67 % de Níquel y 18 a 22% de Cromo por lo cual es ideal para ser utilizada en tuberías Incoloy 800, por presentar una composición química similar. También indica que antes de soldar o calentar cualquier aleación a base de níquel, el metal base debe estar limpia. Aceite, grasa, pintura, lubricantes, marcado lápices, temperatura materiales que indica, roscado compuestos, y otros materiales contienen con frecuencia azufre o plomo que pueden causar grietas (fragilización)

del metal de base o el metal de soldadura si está presente durante la soldadura o calentamiento. Este material de aporte es comercialmente más conocido como ERNiCr3, igualmente descrito en este Código. El Número F es el 43, esto se obtiene, respectivamente, de las especificaciones QW-432 del Código ASME, Sección IX. (Ver anexo 4). Se utilizó una varilla de diámetro 3/32" y 1/8".

**Parte A-5:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-405, QW-406 y QW-407 respectivas a Posición de soldeo, Precalentamiento y Tratamiento Térmico respectivamente.

Para la realización de la junta soldada se escogió que el soldador la ejecutara en la posición 6G, dado que con la utilización de esta posición se logra calificar tanto el procedimiento como al soldador en todas las demás posiciones. Esto se debe a que para la posición 6G el tubo a soldar tiene que estar inclinado aproximadamente 45° con respecto a la horizontal, al estar así, el soldador debe realizar soldadura sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente y plana. (Véase la figura N° 15, véase la página 73)

**FIGURA N° 15**  
**SECUENCIA DE AVANCE DE LA UNION SOLDADA**



Secuencia:

- 1.- Sobrecabeza.
- 2.- Vertical ascendente.
- 3.- Vertical descendente.
- 4.- Vertical ascendente.
- 5.- Vertical descendente.
- 6.- Horizontal.

Fuente: El autor

La temperatura y condiciones del precalentamiento a utilizar son las expresadas el Código ASME, Sección B31.3. El cual indica que el metal con designación P-N°45, no requiere que se realice un precalentamiento al tener una temperatura ambiente de 22°C.

Las variables límites que a controlar en la realización del tratamiento térmico de alivio de tensiones son las expresadas en la Tabla 331.1.1 del Código ASME, Sección B31.3, (ver anexo 5), El cual indica que el metal debe con numero P-N°45 (Incoloy 800), al no encontrarse dentro de la tabla 331.1.1, no requiere tratamiento térmico.

**Parte A-6:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-408 y QW-409, respectivas al Gas de protección y a las Características Eléctricas

El proceso de soldadura GTAW requiere de protección gaseosa; el Código ASME, Sección II, Parte C, especificación SFA-5.14 la

varilla a utilizar es ERNiCr-3, verificando con las especificaciones del proveedor SOLDEXA se requiere de un gas de protección y respaldo de Argón al 100%.(Ver anexo 6)

Las características eléctricas dependen de cada proceso, electrodo y material de aporte utilizado. El Proceso GTAW se debe utilizar en Corriente Directa con el electrodo conectado al Polo Negativo, con un amperaje en el rango de 90 a 200 amp. y un voltaje entre 10 y 14 Volt; el electrodo de Tungsteno debe ser acorde con material de aporte, se escogió el EWTh-2 de 1/16 -3/16 pulg de diámetro, este electrodo está aleado con Óxido de Torio. (Ver anexo 7)


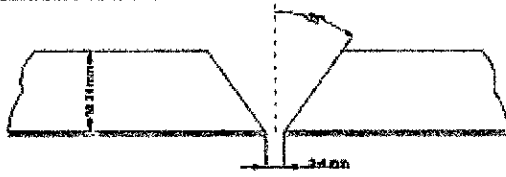
**Parte A-7:** Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-410, Las técnicas de soldeo dependen de la habilidad del soldador. La máxima oscilación permitida debe ser de tres veces el diámetro del electrodo, esta es una variable ampliamente recomendada, al igual que realizar una buena limpieza del metal base, realizándola hasta una distancia de 2,54 cm (1 pulg) lateral a la junta.

**Parte A-8:** Esta parte muestra un resumen del orden de los pases de soldadura, indicando el proceso a utilizar, siendo el GTAW para los pases de raíz y relleno, especificando los electrodos, y las variables eléctricas más importantes.

**Parte A-9:** Entre las observaciones se colocaron puntos importantes como por ejemplo, La junta debe limpiarse antes de cada pasada con escobilla de acero inoxidable.

A continuación se muestra el WPS, diseñada para la realización de las pruebas y ensayos, con el fin de su calificación. (Véase la tabla N° 7, en la página 76). Luego de haber desarrollado pasamos a la etapa de seguimiento y control.

**TABLA N° 7  
PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE SOLDADURA  
COMPLETADO**

PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE SOLDADURA (WPS)																																																																											
		WPS N°: 632 Soportado por PQR N° 252	Rev. 0 Fecha: 18/10/2015	Revisado por: Juan Carlos Pacheco Vallejo Aprobado por: Virgilio Gelfindo																																																																							
Proceso (s) de soldadura: GTAW				Tipo: MANUAL																																																																							
<b>JUNTA (QW-402)</b> Diseño de la Junta: <u>Ranura simple en V</u> Respaldo: SI <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de respaldo: <u>N/A</u> Metal no fundible: <u>N/A</u> Material no metálico: <u>N/A</u> Otro: _____																																																																											
<b>METAL BASE (QW-403)</b> P-N° <u>45</u> Grupo N° _____ a P-N° <u>45</u> Grupo N° _____ Especificaciones: <u>BB-417</u> a Especificaciones: <u>BB-417</u> Rango de espesores: <u>5 - 36.5 mm</u> Tope: <u>5 - 36.5 mm</u> Filete: <u>Todos los espesores</u> Rango de diámetro de tubería: <u>2 7/8" - 4" Brizado</u> Tope: <u>2 7/8" - 4" Brizado</u> Filete: <u>Todos los espesores</u> Otros: _____																																																																											
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1º</th> <th>2º</th> <th>3º</th> <th>4º</th> <th>Otros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificaciones (SFA) N°:</td> <td></td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS N°</td> <td></td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>F-N°</td> <td></td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>A-N°</td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td></td> <td>3/32</td> <td>3/32</td> <td>1/8</td> <td>1/8</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Metal de aporte</td> <td>Rango de espesores</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Tope</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otros</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>										1º	2º	3º	4º	Otros	Especificaciones (SFA) N°:		5.14	5.14	5.14	5.14	-	Clasificación AWS N°		ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	-	F-N°		43	43	43	43	-	A-N°		-	-	-	-	-	Diámetro del metal de aporte:		3/32	3/32	1/8	1/8	-	Metal de aporte	Rango de espesores	-	-	-	-	-	Tope	-	-	-	-	-	Filete	-	-	-	-	-		Otros	-	-	-	-	-
		1º	2º	3º	4º	Otros																																																																					
Especificaciones (SFA) N°:		5.14	5.14	5.14	5.14	-																																																																					
Clasificación AWS N°		ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	-																																																																					
F-N°		43	43	43	43	-																																																																					
A-N°		-	-	-	-	-																																																																					
Diámetro del metal de aporte:		3/32	3/32	1/8	1/8	-																																																																					
Metal de aporte	Rango de espesores	-	-	-	-	-																																																																					
	Tope	-	-	-	-	-																																																																					
	Filete	-	-	-	-	-																																																																					
	Otros	-	-	-	-	-																																																																					
<b>POSICION (QW-405)</b> posición de la junta a tope: <u>6G</u> Avance del cordón: Ascend. <input checked="" type="checkbox"/> Descend. _____ Posición de la junta de filete: <u>FF</u>				<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b> Temp. Mín. De precalentamiento: <u>25°C</u> Temp. Máx. entre pasadas: <u>160°C</u> Precalentamiento mantenido: SI <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407)</b> Rango de temperatura: <u>N/A</u> Rango de tiempo: <u>N/A</u>																																																																					
<b>GAS DE PROTECCION (QW-408)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Composición</th> </tr> <tr> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>5-20 l/min</td> </tr> <tr> <td>De arrastre</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>5-15 l/min</td> </tr> </tbody> </table>				Composición				Gas	Mezcla	Flujo		Del cordón	Argon	-	5-20 l/min	De arrastre	-	-	-	De respaldo	Argon	-	5-15 l/min	<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS (QW-409)</b> Corriente: AC _____ DC <input checked="" type="checkbox"/> Polaridad: <u>Electrodo negativo</u> Amperaje (rango): <u>90-200 A</u> Voltaje (rango): <u>10V-14V</u> Tipo y tamaño de electrodo de tungsteno: <u>EVIT-2 1/16"-3/16"</u> Modo de transferencia de metal GMAW: _____ Rango de velocidad de alimentación del alambre: _____																																																			
Composición																																																																											
Gas	Mezcla	Flujo																																																																									
Del cordón	Argon	-	5-20 l/min																																																																								
De arrastre	-	-	-																																																																								
De respaldo	Argon	-	5-15 l/min																																																																								
<b>TECNICA (QW-410)</b> Sábigo o de Valven: <u>ES700</u> Método de respaldo posterior: <u>NO SE USA</u> Limpieza final y entre pasadas: <u>Limpiar con escobillas de acero inoxidable hasta 1" de la junta</u> Oscilador: <u>Como se requiere</u>																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pasada</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="4">Corriente</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance</th> <th rowspan="2">Otros</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amperaje (rango)</th> <th>Voltaje (rango)</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>3/32"</td> <td>DC E(-)</td> <td>90-170</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>3/32"</td> <td>DC E(-)</td> <td>90-170</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>1/8"</td> <td>DC E(-)</td> <td>90-200</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>1/8"</td> <td>DC E(-)</td> <td>90-200</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>								Pasada	Proceso	Metal de aporte		Corriente				Velocidad de avance	Otros	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)		1	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(-)	90-170	10-14	-	-	2	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(-)	90-170	10-14	-	-	3	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(-)	90-200	10-14	-	-	Otros	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(-)	90-200	10-14	-	-																
Pasada	Proceso	Metal de aporte		Corriente						Velocidad de avance	Otros																																																																
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)	Voltaje (rango)																																																																					
1	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(-)	90-170	10-14	-	-																																																																			
2	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(-)	90-170	10-14	-	-																																																																			
3	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(-)	90-200	10-14	-	-																																																																			
Otros	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(-)	90-200	10-14	-	-																																																																			
Notas: <u>La junta se debe limpiar antes de cada pasada. Usar cepillos de acero inoxidable</u>																																																																											

Fuente: El autor



#### **4.6.3 Seguimiento y control**

En esta etapa se da la calificación del instructivo “procedimiento específico de soldadura (WPS)”, donde se tendrá que verificar el cumplimiento del instructivo

Para la Calificación del instructivo, fue necesario la realización de una unión soldada siguiendo las indicaciones dadas en el WPS y luego seccionar este cupón de prueba con el fin de obtener las diferentes probetas.

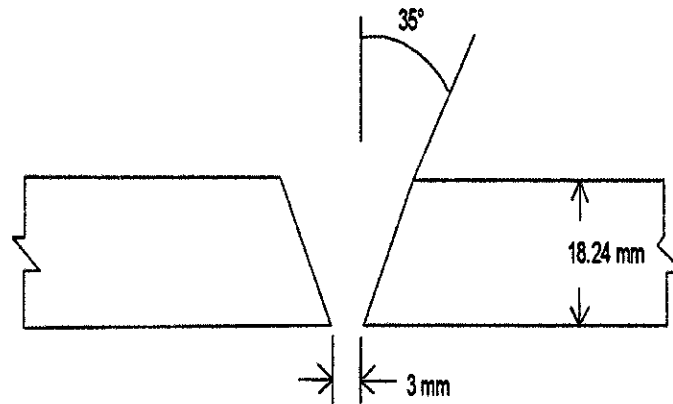
A continuación los pasos que se siguieron para lograr este fin.

##### **a) Preparación del metal base.**

Se extrajeron dos tramos de 7 pulgadas de longitud de un tubo de Incoloy 800 de 6 pulgadas de diámetro y un espesor: 18.24 mm. Estos tramos se biselaron a 35 grados, posteriormente se realizó la limpieza de los bordes a soldar hasta una distancia de 2,54 cm (1 pulg) de longitud medidos desde el bisel hacia la zona basta de la tubería. Esta limpieza se llevó a cabo mediante un esmeril y un cepillo de alambre de acero inoxidable. (Véase la figura N° 16, en la página 78).

Se realizó el armado y la unión de los dos tramos mediante puentes de soldadura se verificó el alineamiento del armado. Se procedió a generar la cámara con gas de argón. La pieza se colocó en posición 6G. (Véase la figura N° 17, en la página 78)

**FIGURA N° 16**  
**DISEÑO DE JUNTA**



Fuente: El autor

**FIGURA N° 17**  
**ARMADO DE TUBERIAS**



Fuente: El autor

### **b) Proceso De Soldadura GTAW**

Tanto el pase de raíz como el segundo pase se realizaron empleando este proceso de soldadura, y siguiendo las siguientes variables:

### **Corriente y polaridad:**

Según el Código ASME, Sección II, Parte C especificación SFA-5.12, Tabla A1 (Ver anexo 7), para aleaciones de níquel. Se usó corriente directa (DC) con el electrodo de tungsteno conectado al polo negativo (polaridad negativa); esto hace que la generación de calor en el electrodo sea menor, incrementando la duración del mismo y reduciendo la contaminación con tungsteno en la soldadura sin reducir la penetración.

Para aleaciones de níquel, como es el caso del Incoloy 800, según la hoja técnica del proveedor SOLDEXA los materiales de aporte tendrán un rango de amperaje según el diámetro del material de aporte. Para un diámetro de material aporte de 3/32" el rango de amperaje es de 20-150 Amp. y para un diámetro de 1/8" su rango de amperaje se encuentra entre 30-250 Amp. (Ver anexo 6)

Para el material y espesor utilizado en la elaboración del procedimiento, se trabajó con un intervalo de corriente de 90 a 200 Amp. (Véase la figura N° 18, en la página 80)

**FIGURA N° 18**  
**PROCESO DE SOLDADURA GTAW**

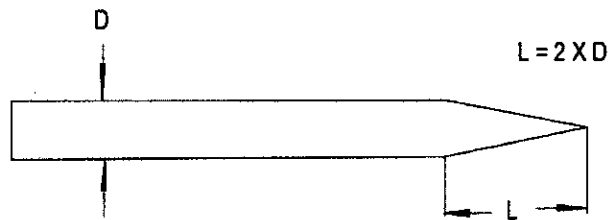


Fuente: El autor

**Electrodo de Tungsteno:**

Según el Código ASME, Sección II, Parte C especificación SFA-5.12, (ver anexo 7). Se utilizó un electrodo de tungsteno toriado (EW-Th2) cuyo diámetro fue de 1/16" y 3/16" operativo en un intervalo de corriente entre 90 - 150 Amp y 480-650 Amp. La punta de los electrodos de tungsteno se amoló de forma que su longitud fuera dos veces su diámetro, eliminando la parte filosa de la punta. (Véase la figura N° 19, en la página 81)

**FIGURA N° 19**  
**PUNTA DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO**



Fuente: El autor

**Material de aporte:**

El material de aporte se escogió para la soldadura de tuberías de Incoloy 800 la varilla para soldar ERNiCr3, de 3/32" y 1/8" de diámetro. (Ver anexo 6)

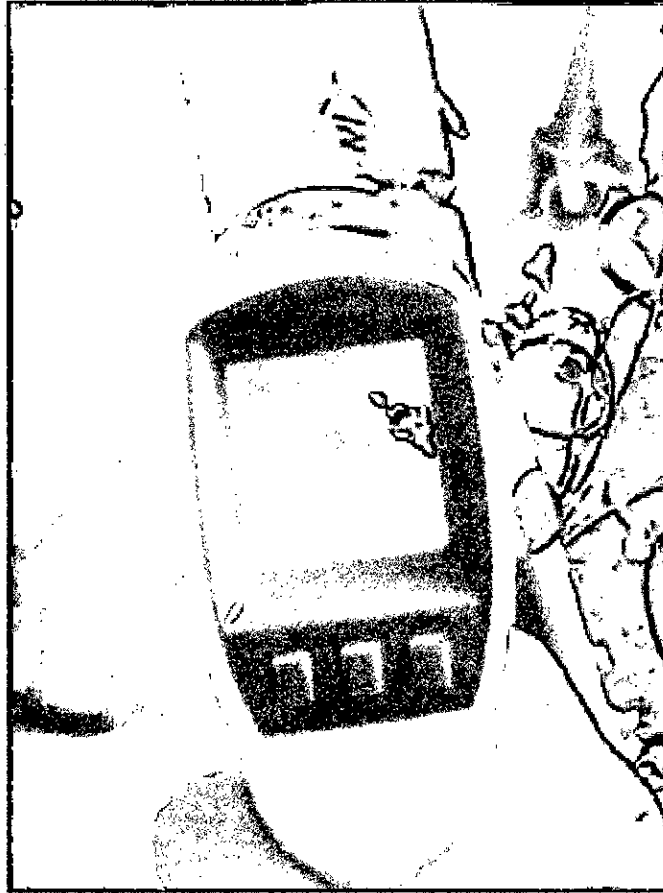
**Protección gaseosa:**

El gas de protección fue la mezcla 99.9% Argón. Se protegió tanto el cordón como el respaldo. El cordón se protegió mediante el flujo de 5 a 20 l/min por la parte frontal y el respaldo se logró purgando la tubería y manteniendo un flujo constante de entre 5 a 15 l/min. (Ver anexo 6)

**c) Temperatura entre pases:**

Se controló la temperatura internases. La medición se realizó con el Pirómetro, verificando que la temperatura entre pases no sea mayor que 140 °C. (Véase la figura N° 20, en la página 82)

**FIGURA N° 20**  
**CONTROL DE TEMPERATURA ENTRE PASE**



Fuente: El autor

**d) Aplicación de las inspecciones y ensayos no destructivos.**

Las inspecciones y ensayos no destructivos se realizaron después de soldar la probeta y con la finalidad de evaluar tanto las dimensiones iniciales de la junta, la calidad de cada pase de soldadura, las condiciones finales de la unión soldada como sus propiedades

mecánicas. Todo esto con el propósito de realizar la calificación del procedimiento de soldadura.

La inspección visual y el ensayo de volumétrico (radiografía), se realizaron por personal calificado y certificado por un nivel II en inspección visual y radiografía para la realización de este tipo de inspección según ASNT-SNT-1A 2006. Ver anexos 8 y 9 respectivamente.

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo en los laboratorios de la empresa SOLDEXA y el doblado se llevaron a cabo en la empresa HAUG S.A.

#### **e) Inspección visual.**

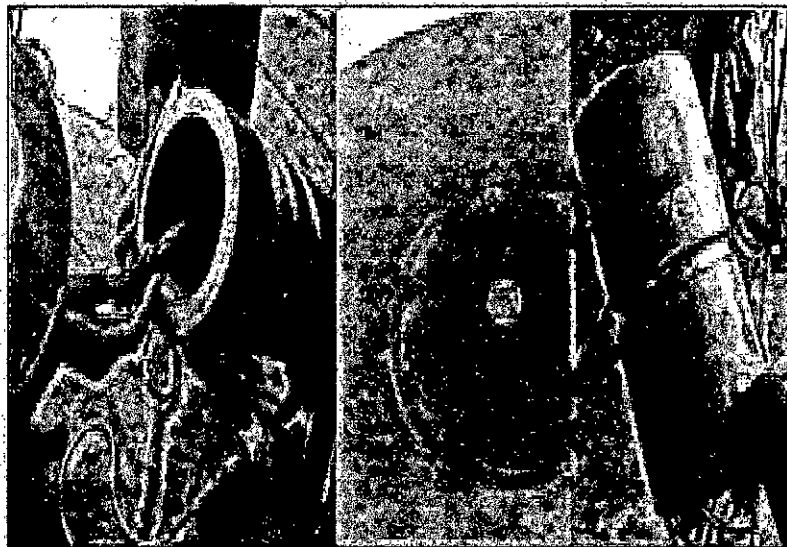
Este método de ensayo no destructivo fue usado para realizar una evaluación rápida de la junta soldada. Fue utilizado para determinar el correcto ensamblaje, condiciones de la superficie, limpieza del metal base, antes de empezar a soldar la junta. Igualmente se empleó en cada uno de los pases de soldadura para las evaluaciones rápidas y certeras, rechazando y corrigiendo las posibles porosidades, socavación, exceso o falta de penetración, entre otros defectos.

Se realizó la Inspección Visual de forma directa, con luz natural en el exterior y luz artificial en el interior y sin necesidad de ningún tipo de ayuda electrónica dado que las superficies tienen buena accesibilidad.

El criterio utilizado para la evaluación de la junta soldadas es el perteneciente al Código ASME, Sección B31.3, Tabla 341.3.2 específicamente en la zona indicada para soldaduras de tuberías que transporten fluidos en Condiciones de Ciclo Severo (Severe Cyclic Conditions). (Ver anexo 10).

Se realiza la inspección visual entre pases y a la raíz de la soldadura. (Véase la figura N° 21)

**FIGURA N° 21  
INSPECCION VISUAL DE LA RAIZ Y ENTRE PASES**



Fuente: El autor

**f) Ensayos de radiografía.**

Este ensayo fue realizado por QUALITEST-PERU, bajo los criterios de aceptación del Código ASME Sección IX, utilizando un equipo de gammagrafia industrial, isotopo de Ir 192 y actividad de 1100



Gbq, técnica de exposición de doble pared e interpretación una cara, tipo de película KODAK T-200, indicador de calidad de imagen ASTM E-747 ASTM.1B y la interpretación se hizo con el Código ASME Sección IX, buscando descartar defectos internos, evaluarlos con los criterios de aceptación del código.

**g) Extracción y dimensiones de las probetas.**

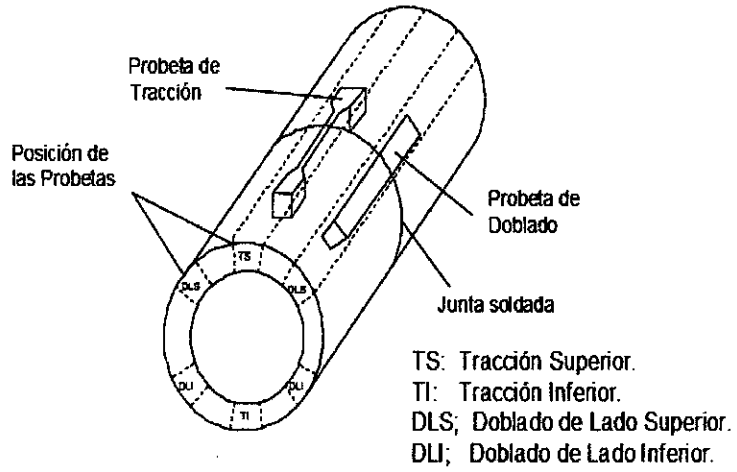
Se extrajeron dos probetas para los ensayos a tracción y cuatro para los ensayos de doblado, como lo recomienda la Sección IX del Código ASME.

El corte basto de las probetas se realizó en una sierra refrigerada, mientras que el maquinado final se realizó en una fresa igualmente refrigerada, evitando la posibilidad de deformaciones por esfuerzos o que altas temperaturas cambiaran las propiedades mecánicas del metal base.

Se presentan las zonas de extracción de los cupones y su forma final. (Véase la figura N° 22, en la página 86)

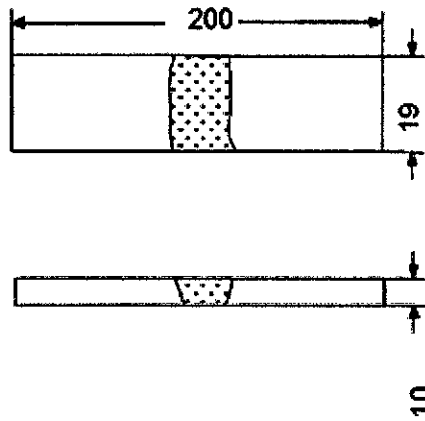
También se presenta las probetas de doblado (Véase las figura N° 23, en la página 86) y tracción. (Véase la figura N° 24, en la página 87)

**FIGURA N° 22**  
**ZONA DE EXTRACCIÓN DE LOS CUPONES**



Fuente: El autor

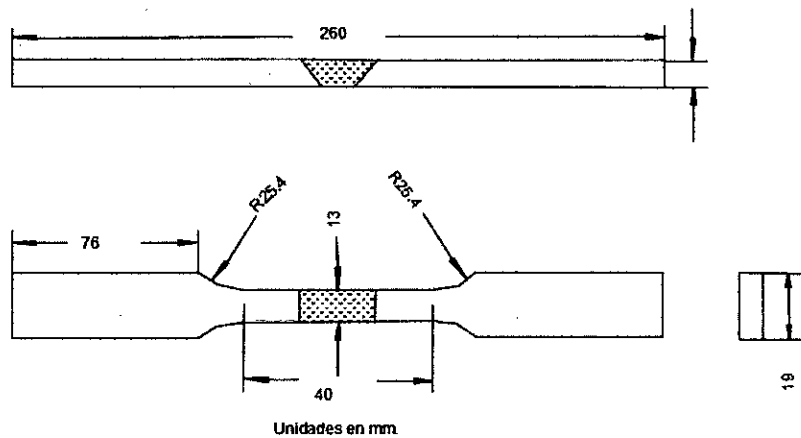
**FIGURA N° 23**  
**PROBETA DE DOBLADO**



Unidades en mm.

Fuente: El autor

**FIGURA N° 24**  
**PROBETA DE TRACCION**



Fuente: El autor

#### **g.1) Ensayos de tracción.**

Las dos probetas fueron maquinadas a la medida recomendada por el Código ASME, Sección IX y posteriormente traccionadas hasta su ruptura en una Máquina de Ensayos de Materiales, Marca: Tinius Olsen, Modelo: Súper L120 y número de serie 173635. Obteniendo la gráfica correspondiente de Esfuerzo-Deformación, la Carga Máxima, el Esfuerzo Máximo y el Lugar de Fractura.

#### **g.2) Ensayos de doblado.**

Las cuatro probetas fueron maquinadas a la medida recomendada por el Código ASME, Sección IX y posteriormente dobladas, en un troquel y punzón que cumplieran con las especificaciones, hasta un ángulo de 180°.

Luego de haber calificado el procedimiento se hizo seguimiento a lo indicado el instructivo WPS, se realizaron los ensayos no destructivos y destructivos. La parte de los resultados y elaboración del registro de calificación del procedimiento se dará en la siguiente etapa Cierre.

#### **4.6.4 Cierre**

En esta etapa de cierre se analizan los resultados de los ensayos no destructivos y destructivos los cuales servirán para poder elaborar el instructivo de “registro de calificación de procedimiento (PQR)”, el cual será el documento que respalde al procedimiento específico de soldadura (WPS). De ser los resultados de los ensayos satisfactorios el WPS, queda automáticamente aprobado para poder dar inicio a los trabajos de soldadura.

A continuación se dará una explicación de los siguientes:

- a) Ensayo no destructivo
- b) Ensayo destructivo
- c) Elaboración del instructivo registro del procedimiento (PQR)

##### **a) Ensayos no destructivos.**

###### **Inspección visual.**

Este ensayo comenzó con la evaluación del bisel, las mediciones de los ángulos fueron correctas y la limpieza de ambas partes de tubería

realizó de forma muy minuciosa, se eliminó cualquier rastro de grasa, pintura, óxido y cualquier otro agente que pudiera provocar una discontinuidad. El punteo se realizó de manera que no dañara ninguna zona cercana a la ranura. El pase de raíz se inspecciono muy meticulosamente y no se encontró ningún tipo de discontinuidad y mucho menos defectos, por lo que se realizó el segundo sin mayores dificultades ni pérdidas de tiempo. Este tampoco presentó discontinuidades relevantes.

Igualmente se empleó la inspección visual para el control de temperatura entre pases, siempre ayudado por el pirómetro.

Al no evidenciar ningún tipo de defecto ni de discontinuidad en el cordón de la soldadura ni en la zona afectada por el calor se ratificó que el soldador realizó una técnica de soldadura correcta y que la probeta no sufrió ni agrietamiento en caliente ni en frío, por lo que se tomó como satisfactorio este ensayo y se ordenó la realización del ensayo de radiografía.

**FIGURA N° 25**  
**INSPECCION VISUAL A LA RAIZ Y ENTRE PASES**



Fuente: El autor

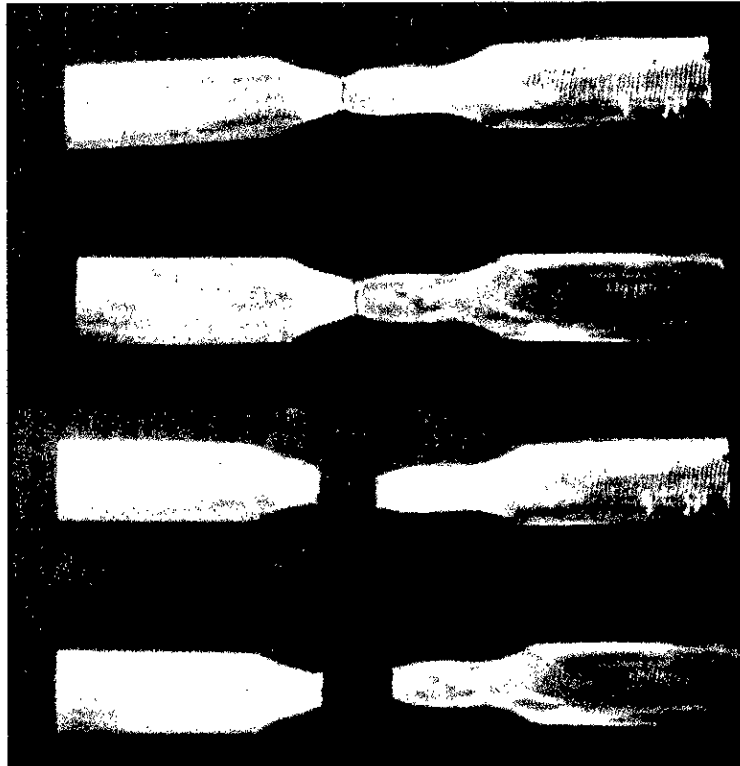
**Ensayos de radiografía.**

Se realizó el ensayo de radiografía industrial presentado la película radiográfica una alta calidad, libre de sombreado y de irregularidades del revelado, obteniendo mediante este ensayo la última decisión de aceptación o rechazo en los ensayos no destructivos debido a que el ensayo de radiografía brinda la información de cualquier tipo de indicación volumétrica.

No se observó en las películas radiográficas ningún tipo de indicación de penetración incompleta sin desalineamiento.

No se observa ningún tipo de agrietamiento interno y/o externo a causa de una junta con las dimensiones inadecuadas.

**FIGURA N° 26**  
**MUESTRAN LAS PROBETAS UNAS VES ENSAYADAS**



Fuente: El autor

Las dos probetas rompieron por el metal base, demostrándonos que las propiedades mecánicas a la tracción en el cordón de soldadura son superiores que en el metal base. Los resultados del ensayo de tracción se muestran. (Ver anexo 13)

Otro punto importante es que la resistencia mínima a la tracción, de ambas probetas, fueron ligeramente mayores que la exigida al metal base por la norma. (Véase la tabla N° 8, en la página 93)

**TABLA N° 8**  
**RESULTADOS DE EXAMEN DE TRACCION**

Indicaciones de las Probetas	Seccion Transversal				Limite de Fluencia		Resistencia a la Traccion		% Elongacion
	Ancho mm	Espesor mm	Diametro mm	Area mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia en Mpa	Maxima N	Maxima Mpa	
PQR-292-T1	19.06	18.96	No aplica	361.4	100948	279	189282	524	No aplica
PQR-292-T2	19.07	19.02	No aplica	362.7	103045	284	196298	541	No aplica
Observaciones									
Material base: B/SB-407									
Material de Aporte :ERNICr3									
Proceso: GTAW									
Posicion: 6G									

Fuente: El autor

Como se puede apreciar en la tabla N° 8, en ambas probetas rompieron a esfuerzos mayores indicados en la norma que en este caso es de 515MPa. Quedando aprobado el ensayo de tracción.

#### **Ensayos de doblado.**

Con respecto al ensayo de doblez de lado, ninguna de las cuatro probetas presentó algún tipo de grieta, ni sobre el cordón de la soldadura ni sobre la zona afectado por el calor de la cara convexa.

Por lo que podemos decir que presentaron muy buena ductilidad.

El criterio de aceptación para el ensayo de doblez se indica en el párrafo QW-163 de la Sección IX del Código ASME, este dice textualmente: “Las probetas de doblez guiado, no deben tener defectos abiertos en el cordón o en la zona afectada por el calor, que



El reporte de inspección se encuentra consignado las variables por la norma para el ensayo de radiografía. (Ver Anexo 11)

## **b) Ensayos destructivos**

### **Ensayos de tracción.**

La tubería incoloy 800, se encuentra dentro de la especificación UNS N° N08800 (Véase la tabla N°2 en la página 27). Esta serie se encuentra dentro de una especificación SB407.

La resistencia a la tracción requerida en los tubos cuya especificación es SB407, se lista en el Código ASME, Sección IX, QW-422, es de 515MPa. (Ver anexo 12)

Este código ASME sección IX exige según QW153.1 que:

- El Esfuerzo de Ruptura sea mayor o igual al del metal base.
- Cuando la probeta rompa dentro del metal base, fuera de la línea de fusión, se aceptará que el Esfuerzo de Ruptura sea 5% menor al específico.

A continuación detallaremos los resultados

Las fracturas de ambas probetas resultó ser dúctil, esto se observó en el análisis de las gráficas y se evidenció en las superficies fracturadas de ambas probetas, las cuales presentaron los respectivos labios sobresalientes de las fracturas de este tipo. . (Véase la figura N° 26, en la página 92)

excedan de 3,17 mm; medidos en cualquier dirección sobre la superficie convexa de la probeta después de haber sido doblada”.

Basándonos en este criterio de aceptación, podemos decir que los resultados de todas las probetas son satisfactorios, ya que no presento una indicación quedando conforme con este código. (Véase la figura N° 27)

**FIGURA N° 27**  
**PROBETAS DE DOBLADO DE LADO**



Fuente: El autor

Los resultados del ensayo de doblado de lado fueron (Véase la tabla N° 9).

**TABLA N° 9**  
**RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLEZ**

Item	Identificación	Tipo de doblado	Discontinuidad	Resultado
1	PQR-292-DL1	Lado	ninguna	conforme
2	PQR-292-DL2	Lado	ninguna	conforme
3	PQR-292-DL3	Lado	ninguna	conforme
4	PQR-292-DL4	Lado	ninguna	conforme

Fuente: El autor

Se puede apreciar que los resultados son conformes quedando aprobado el ensayo de dobléz. Para visualizar el registro de dobléz. (Ver anexo 14)

**c) Elaboración de registro del procedimiento (PQR)**

Completados los ensayos no destructivos y ensayos destructivos y que los resultados fueron satisfactorios. Se completa llenado del registro de calificación del procedimiento. (Véase la tabla N° 10, en la página 96) y (véase la tabla N° 11, en la página 97)

**TABLA N° 10.  
REGISTRÓ DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR).  
PRIMERA PÁGINA (LLENADO)**

<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)</b>																																																															
<b>PQR N°</b> 252 <b>WPS N°</b> 632		<b>Rev.</b> 0 <b>Fecha:</b> 19/10/2015		<b>Realizado por</b> Juan Carlos Pacheco Vallejo <b>Aprobado por</b> Virgilio Galindo																																																											
<b>Proceso (s) de soldadura:</b> GTAW					<b>Tipo:</b> MANUAL																																																										
<b>JUNTA (QW-402)</b> Diseño de la Junta: <u>Ranura simple en V</u> Respaldo: <u>SI</u> No <u>X</u> Material de respaldo: Metal: <u>N/A</u> Metal no fundible: <u>N/A</u> Material no metalizado: <u>N/A</u> Otros:																																																															
<b>METAL BASE (QW-403)</b> P-N° <u>45</u> Grupo N° <u>   </u> a P-N° <u>45</u> Grupo N° <u>   </u> Especificaciones: <u>SR-407</u> a Especificaciones: <u>SR-407</u> Rango de espesores: <u>5 - 35.5 mm</u> Flete: <u>Todos los espesores</u> Rango de diámetro de tubería: <u>73 mm (2.78") - limitado</u> Flete: <u>Todos los espesores</u> Otros:																																																															
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1°</th> <th>2°</th> <th>3°</th> <th>4°</th> <th>Otros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificaciones (EPA) N°:</td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>5.14</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS N°</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>F-N°</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>A-N°</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td>3/32</td> <td>3/32</td> <td>1/8</td> <td>1/8</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Rango de espesor de metal de aporte:</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Flete:</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Otros:</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						1°	2°	3°	4°	Otros	Especificaciones (EPA) N°:	5.14	5.14	5.14	5.14	-	Clasificación AWS N°	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	-	F-N°	43	43	43	43	-	A-N°	-	-	-	-	-	Diámetro del metal de aporte:	3/32	3/32	1/8	1/8	-	Rango de espesor de metal de aporte:	-	-	-	-	-	Flete:	-	-	-	-	-	Otros:	-	-	-	-	-
	1°	2°	3°	4°	Otros																																																										
Especificaciones (EPA) N°:	5.14	5.14	5.14	5.14	-																																																										
Clasificación AWS N°	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	-																																																										
F-N°	43	43	43	43	-																																																										
A-N°	-	-	-	-	-																																																										
Diámetro del metal de aporte:	3/32	3/32	1/8	1/8	-																																																										
Rango de espesor de metal de aporte:	-	-	-	-	-																																																										
Flete:	-	-	-	-	-																																																										
Otros:	-	-	-	-	-																																																										
<b>POSICION (QW-406)</b> posición de la junta a tope: <u>SO</u> Avance del cordón: <u>Sup. X</u> <u>Inf.</u> Posición de la junta de filete: <u>6F</u>			<b>PRECALENTAMIENTO (QW-409)</b> Temp. Mín. De precalentamiento: <u>25°C</u> Temp. Máx. entre pases: <u>145°C</u> Precalentamiento mantenido: <u>SI</u> <u>No X</u>			<b>TRATAMIENTO TERMICO (QW-407)</b> Rango de temperatura: <u>N/A</u> Rango de tiempo: <u>N/A</u>																																																									
<b>GAS DE PROTECCION (QW-408)</b> Composición: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>5-20 l/min</td> </tr> <tr> <td>De amarré</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>5-15 l/min</td> </tr> </tbody> </table>				Gas	Mezcla	Flujo	Del cordón	Argon	-	5-20 l/min	De amarré	-	-	-	De respaldo	Argon	-	5-15 l/min	<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS (QW-408)</b> Corriente: <u>AC</u> <u>DC X</u> Polaridad: <u>Electrodo negativo</u> Amper (rango): <u>90-200A</u> Volt (rango): <u>10V-14V</u> Tipo y tamaño de electrodo de tungsteno: <u>ERNiCr-3 1/16" 3/32"</u> Modo de transferencia de metal GMAW: <u>   </u> Rango de velocidad de alimentación del alambre: <u>   </u>																																												
	Gas	Mezcla	Flujo																																																												
Del cordón	Argon	-	5-20 l/min																																																												
De amarré	-	-	-																																																												
De respaldo	Argon	-	5-15 l/min																																																												
<b>TECNICA (QW-410)</b> Stringo de Válvula: <u>Stringo</u> Método de respaldo posterior: <u>no se aplica</u> Limpieza final y entre pases: <u>Limpieza con escobillas de acero inoxidable hasta 1" de la junta</u> Oxidación: <u>Como se requiere</u>																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (rango)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance</th> <th rowspan="2">Otros</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amperaje (rango)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>3/32"</td> <td>DC E(+)</td> <td>90-170</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>3/32"</td> <td>DC E(+)</td> <td>90-170</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>1/8"</td> <td>DC E(+)</td> <td>90-200</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>GTAW</td> <td>ERNiCr-3</td> <td>1/8"</td> <td>DC E(+)</td> <td>90-200</td> <td>10-14</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>										Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance	Otros	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)	1	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(+)	90-170	10-14	-	-	2	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(+)	90-170	10-14	-	-	3	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(+)	90-200	10-14	-	-	Otros	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(+)	90-200	10-14	-	-					
Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance	Otros																																																							
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amperaje (rango)																																																										
1	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(+)	90-170	10-14	-	-																																																							
2	GTAW	ERNiCr-3	3/32"	DC E(+)	90-170	10-14	-	-																																																							
3	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(+)	90-200	10-14	-	-																																																							
Otros	GTAW	ERNiCr-3	1/8"	DC E(+)	90-200	10-14	-	-																																																							
<b>Notas:</b> <u>La junta se debe limpiar antes de cada pase. Usar cepillos de acero inoxidable</u>																																																															

Fuente: El autor

**TABLA N° 11**  
**REGISTRÓ DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR). SEGUNDA**  
**PÁGINA (LLENADO)**

<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)</b>							
<b>PQR N°</b>	292	<b>Rev.</b>	0	<b>Realizado por</b>	Juan Carlos Pacheco Vallejo		
<b>WPS N°</b>	632	<b>Fecha:</b>	15/10/2015	<b>Aprobado por</b>	Virgilio Galindo		
<b>Pruebas de Tracción (QW-160)</b>							
Especimen N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Tipo y lugar de fractura	
PQR-292-T1	18.06	19.95	361.36	25222	221	Dúctil, rancho en metal base	
PQR-292-T2	18.07	19.02	362.71	26226	241	Dúctil, rancho en metal base	
<b>Prueba de Dobleces (QW-160)</b>							
Tipo y Figura N°	Dimensiones (anchura x espesor) mm		Resultado	Observaciones			
PQR-292-DL1 (Dobleces de lado)	16x250x19.02 mm		Correcto	-			
PQR-292-DL3 (Dobleces de lado)	10x100x18.08 mm		Correcto	-			
PQR-292-DL3 (Dobleces de lado)	10x100x18.08 mm		Correcto	-			
PQR-292-DL4 (Dobleces de lado)	10x10.01x200 mm		Correcto	-			
<b>Prueba de tenacidad (QW-170)</b>							
Especimen N°	Ubicación de la muestra	Tamaño de espécimen	Temperatura de prueba	Valores de Impacto			Peso descendente con freno
				FALTS	Score	Espesor	
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Comentarios</b>							
<b>Prueba de soldadura de Eje (QW-199)</b>							
<b>Resultado satisfactorio:</b>	Yes	No	<b>Penetración completa:</b>	Si	No		
Micro - análisis							
<b>Otras pruebas</b>							
Tipo de prueba: Prueba radiográfica							
Resultado del análisis: Aceptado							
Otras: -							
Nombre del soldador: Nna Morroy, Edgar			Estampa N°: HFO-784				
Inspección conducida por: SOLDEXA y Qualitest Peru			Laboratorio: Pruebas de Tracción-Reporte N°-ET-2015-319				
			Prueba de Dobleces: Reporte N°-REDG-031-2015				
			Prueba radiográfica: Reporte N°: PQR00115				
Certificamos que las declaraciones en este expediente están correctas y que las juntas de las pruebas fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la sección IX del código ASME, edición 2015							
Organizada: HAJG S.A							

Fuente: El autor

## V. EVALUACION TECNICO-ECONOMICA

### 5.1. Análisis estratégico

Para la calificación del procedimiento de soldadura se analizara la viabilidad se detallara a continuación:

#### a) Análisis de viabilidad

El proyecto de la instalación de la planta de hidrogeno en la pampilla inicio sus trabajos a mediados del año 2015, La empresa que iba a realizar el montaje electromecánico y tendido de tuberías aleadas y no aleadas como el incoloy 800, era la empresa HAUG S.A

Haug, tenía que realizar la instalación de los reformadores donde se produciría el hidrogeno crudo. Dicho producto tenía que ser transportado un una línea de tuberías (Incoloy 800) (ver plano 1)

Uno de los alcances de HAUG, era el montaje y soldadura de las tuberías (incoloy 800). HAUG, no contaba con un procedimiento de soldadura para este tipo de material como es el incoloy 800.

Desde el punto de vista de la viabilidad la elaboración del procedimiento de soldadura es viable, debido a que si no se cuenta con dicho documento no se podrá realizar el montaje y la soldadura de las tuberías. Impactando seriamente en el cronograma de entrega del proyecto. También dicho documento generara un aseguramiento de calidad a todas las uniones que se realizaran en el montaje de las tuberías. Debido a que se siguió los lineamientos del código ASME sección IX.

## **b) Cronograma del proyecto**

Se establecerá un cronograma de actividades que servirá para poder llevar un mejor control de los tiempos durante la calificación del procedimiento.

Dicho cronograma también se encuentra en el anexo 15

## **5.2. Evaluación Económica del proyecto**

Para la elaboración del procedimiento de soldadura se tuvo la siguiente evaluación económica y participación de ciertos elementos que se darán a conocer.

Como parte operativa tenemos a los siguientes personales

- Ingeniero de soldadura
- El soldador

Como parte de servicios tenemos lo siguiente:

- El corte y maquinado de las probetas de tracción y dobléz serán realizados por la empresa AFFRA S.A
- La inspección radiográfica de la probeta será realizado por la empresa QUALITEST PERÚ S.A.C
- El ensayo de tracción de la probeta será realizado por la empresa SOLDEXA S.A
- El ensayo de dobléz será realizado por la empresa HAUG S.A

Como parte de los materiales, los equipos y consumibles tenemos a lo siguiente:

- Máquina de soldar
- Equipos de esmeril
- Gas de protección argón
- Material de aporte
- Probetas (suministrada por el cliente)

A continuación se detalla mediante una tabla los costos respectivos que se utilizaron para realizar el procedimiento de soldadura. (Véase la tabla N° 12)

**TABLA N° 12  
EVALUACION ECONOMICA DEL POYECTO**

ITEM	DESCRIPCION	COSTO (Soles)/DIA	DIAS	COSTO TOTAL (S/)
1	Ingeniero de soldadura	200	15	3000
2	Soldador 6G	120	3	360
3	Maquina de soldar	30	3	90
4	Equipo de esmeril	4	3	12
5	Gas de proteccion	200	-	200
6	Material de aporte	600	-	600
7	Maquinado de probetas	250	-	250
8	Ensayo de traccion	1700	-	1700
9	Ensayo de dobléz	600	-	600
10	Ensayo de radiografia	250	-	250
		<b>Costo total</b>		<b>s/ 7062.00</b>

Fuente: el autor



## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

Con la elaboración de este informe de experiencia laboral se da a conocer las siguientes conclusiones:

- Se elaboró y califico el procedimiento de soldadura para tuberías incoloy 800, logrando garantizar la soldabilidad y posterior montaje de las tuberías, Cumpliendo los lineamientos del ASME sección IX
- La elaboración de una metodología adecuada nos permitió la realización del procedimiento de soldadura. Ya que esta metodología nos brindara un guía de cómo elaborar un procedimiento de soldadura siguiendo los lineamientos de ASME sección IX
- Se desarrolló el instructivo del procedimiento específico de soldadura (WPS). La elaboración del instructivo del procedimiento específico de soldadura (WPS), ayudo en la elaboración del procedimiento en el arranque de los trabajos de soldadura para poder cumplir con el cronograma de entrega del proyecto y garantizar la buena calidad de las uniones.
- Se desarrolló el instructivo del registro de calificación de procedimiento (PQR).La elaboración del instructivo del registro de calificación del procedimiento (PQR), sirvió para poder elaborar el procedimiento de soldadura por que el PQR es el documento que garantiza el cumplimiento del wps y da por validado el WPS.

- Para la elaboración del procedimiento de soldadura se seleccionaron los diseños de junta, el material de aporte y el proceso de soldadura adecuado. Los cuáles serán uno de los elementos importantes en la aprobación del procedimiento de soldadura.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda aplicar el procedimiento de soldadura anteriormente expuesto considerando

- La tubería debe ser soldado por un personal calificado y que cuente con experiencia en soldadura en tuberías
- Se tiene que respetar las indicaciones dadas en el instructivo del procedimiento específico de soldadura (WPS)
- La preparación de la unión debe estar libre de contaminantes como grasa, libre de óxido y pintura que pudieran afectar las propiedades de la soldadura generando una discontinuidad.
- Se tiene que tener en cuenta las condiciones climáticas a la hora de calificar el instructivo del procedimiento específico de soldadura (WPS). Las condiciones que podrían presentarse son la humedad en el aire, ventiscas de arena o vientos fuertes. Teniendo que proteger mediante carpas la zona donde se calificara la probeta.
- El personal que realizara la inspección de la soldadura debe ser calificado para las tareas de inspección y contar con certificación.

- Para realizar un procedimiento de soldadura se tiene que conocer el material base que se utilizara y conocer lo siguiente:
  - ✓ Propiedades mecánicas.
  - ✓ Propiedades químicas.
  - ✓ Soldabilidad del material.

En base a mi experiencia se tiene que tener conocimientos de la soldabilidad del material, debido a que no se conoce las consideraciones de cómo se soldara que consideraciones de preparación del material base se tiene para la soldadura. El ASME Sección IX, solo hace mención al material en lo que respecta a sus propiedades mecánicas, químicas y como se clasifica dentro de ella.

- Se tiene que seleccionar el proceso de soldadura en cuanto a las siguientes:
  - ✓ Al poder del arco de soldadura
  - ✓ Mejor acabado superficial
  - ✓ Menor aporte térmico
  - ✓ La posición de trabajo a realizar

En base a la experiencia que tengo en los cinco procesos de soldadura como son el SMAW, FACW, SAW, GMAW Y GTAW los cuales son los más conocidos. Es por ello que se tienen que estudiar cada uno de estos procesos y ver sus ventajas y desventajas.

En la elaboración del procedimiento de soldadura, se utiliza el proceso de soldadura GTAW, por presentar mayor poder de arco de soldadura, mejor

acabado superficial, adecuado para la posición, y menor aporte térmico. Estas características ayudaran a la elaboración del procedimiento de la soldadura.

- Se tiene que revisar toda la información respecto al código de calificación en q será evaluado el procedimiento de soldadura. Debido a que para la calificación de un procedimiento de soldadura existen tres códigos reglamentarios y cada uno tiene sus propias consideraciones. A continuación se menciona cuáles son los códigos de calificación de procedimiento:
  - ✓ Código AWS D1.1, se utiliza para la soldadura de estructuras
  - ✓ Código AWS D1.5, Se utiliza para la fabricación de puentes
  - ✓ Código ASME SECCION IX, se utiliza para la calificación de recipientes a precisión y de tuberías

## VII. REFERENCIALES

- ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TEGNOLOGIAS DE UNION-cesol. **Niquel y sus aleaciones a base de niquel.**España. . 2013.
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TEGNOLOGIAS DE UNION. **Inspección visual.** España. CESOL. 2013
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TEGNOLOGIAS DE UNION. **Inspección radiográfica.** España. CESOL. 2013
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TEGNOLOGIAS DE UNION. **Soldeo GTAW.** España. CESOL. 2013
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TEGNOLOGIAS DE UNION. **Ensayos destructivos de materiales y uniones soldadas.** España.CESOL.2013
- ANSI/AWS A3.0.**Norma de términos y definiciones de Soldadura.**EEUU.2001
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). **ASME sección IX Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.** EEUU.ASME.2015
- CESAR BERNAL. **Metodología de la investigación.**Colombia.Editorial Pearson. Tercera edición.2010

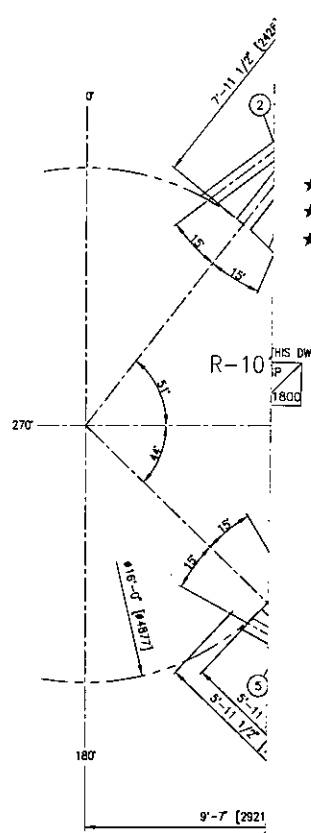
- CIRO ESPINOZA. ***Metodología de la investigación tecnológica.*** Perú. Editorial Imagen Gráfica SAC. Primera edición.2010
- JORGE GUSTAVO SAENZ GONZALES. ***Diseño y calificación de un WPS, PQR Y WPQR de soldadura. Según la norma API para la estación de recolección campo escuela colorado.*** Tesis de grado. Colombia. Universidad industrial de Santander.2010
- ANA MARIA FERNANDES ESPINOZA. ***La importancia de la inspección de la soldadura en la fabricación y montaje de estructura metálicas.*** Tesis de grado. México. Universidad veracruzana. 2010.

## **VIII. PLANOS Y ANEXOS**

### **PLANOS**

#### **PLANO 1**

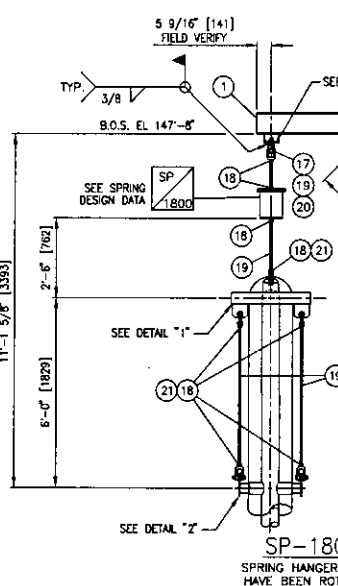
#### **PLANO DE MONTAJE DE LAS TUBERIAS INCOLOY 800**



### BILL OF MATERIAL

ITEM	QTY	DESCRIPTION	SPECIFICATION / MFG	LB./WGT.
** 1	1	RH200x200x8/12 BEAM X 6'-0" LG	A-992	189
** 2	2	RH150x150x7/10 BEAM X 6'-3" LG	A-992	173
** 3	2	C150x75x8/12.5 CHANNEL X 6'-5" LG	SA-36	168
** 4	1	RH200x200x8/12 BEAM X 4'-0" LG	A-992	89
** 5	2	RH150x150x7/10 BEAM X 4'-8" LG	A-992	35
** 6	1	C150x75x8/12.5 CHANNEL X 5'-6" LG	SA-36	9
★ ** 7	2	3/8" THK X 6" X 7" PLATE (DETAIL 3)	SA-36	7
★ ** 8	4	3/8" THK X 5" X 6" PLATE (DETAIL 4)	SA-36	23
★ ** 9	4	3/8" THK X 6" X 12" PLATE (DETAIL 5)	SA-36	17
** 10	44	5/8" DIA X 2" LG BOLT W/ HVY HEX NUT	SA-325 GALV. FULL THRD	89
11	2	4" NOM PIPE S/120 (.438" WALL) X 2'-4" LG	SA-106-B	22
12	6	1/2" THK X 5" X 5" PLATE (DETAIL 6)	SA-36	5
13	4	1/4" THK X 4 1/2" DIA PLATE	SA-36	28
14	4	4" NOM PIPE S/120 (.438" WALL) X 4 9/16" LG (DETAIL 2)	INCOLOY 800, SB-407 UNS N088	21
15	4	3" NOM PIPE S/80 (.300" WALL) X 6" LG (DETAIL 2)	SA-312-TF304	17
16	4	3/8" THK X 4 1/2" X 8" PLATE (DETAIL 7)	SA-240-TF304	3
17	1	3/4" WELDED BEAM ATTACHMENT W/ BOLT & NUT	GALV. CARBON AAA FIG 518	4
18	8	3/4" DIA LOCK NUT	GALV.	38
19	3	3/4" DIA X 6'-0" LG THREAD ROD (CUT TO FIT)	GALV.	2
20	1	WELDLESS EYENUT FOR 3/4" ROD	GALV. CARBON AAA FIG 418	30
21	5	3/4" ROD ATTACHMENT FORGED STEEL CLEVIS	GALV. CARBON AAA FIG 415WP	7
22	1	1" WELDED BEAM ATTACHMENT W/ BOLT & NUT	GALV. CARBON AAA FIG 518	4
23	8	1" DIA LOCK NUT	GALV.	23
24	3	1" DIA X 6'-0" LG THREAD ROD (CUT TO FIT)	GALV.	2
25	1	WELDLESS EYENUT FOR 1" ROD	GALV. CARBON AAA FIG 418	6
26	5	1" ROD ATTACHMENT FORGED STEEL CLEVIS	GALV. CARBON AAA FIG 415WP	10
27	2	C75x40x5/7 CHANNEL X 6" LG	SA-36	8
28	2	3/4" THK X 6" X 6" PLATE (FIT UP DETAIL)	SA-36	1
29	2	3/4" DIA X 2 1/2" LG BOLT W/ HVY HEX NUT	SA-325 GALV. FULL THRD	1
30	2	3/4" LOCK WASHER	GALV.	1
TOTAL:				1031

\* B.O.M. MATERIAL LENGTHS ARE FOR PURCHASING ONLY. FAB PER DRAWING DIMENSIONS.

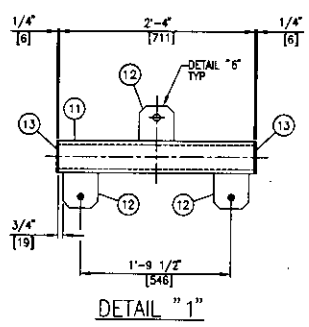


### RESTRAINT DISPLACEMENTS AND REACTIONS

NODE	RESTRAINED DIRECTION	GAP (IN.)	RESULTANT FORCE (LB.)	DX MIN/MAX (IN.)	DY MIN/MAX (IN.)	DZ MIN/MAX (IN.)
10	+Z, -Z	0.25, 0.25	1000	-0.12/1.69	-1.07/0	-0.23/0
20	+Z, -Z	0, 0.625	4454	-0.25/1.60	-1.83/0	-0.63/0
30	HANGER	-	1919	-1.88/1.77	-0.15/0.89	-8.30/0.19
40	+X, -X	0.125, 0.125	2218	-0.13/0.13	-2.32/0.53	-10.10/0.85
50	HANGER	-	2082	-1.54/1.72	-2.06/0.37	-7.99/0.26
60	HANGER	-	1024	-1.39/1.27	-1.63/0.18	-4.79/0.04
70	-Y, +Y	0, 0	2748	-0.44/0	0/0.04	-1.30/0.01

### HANGER TABLE

NO. REQD.	FIGURE	TYPE	SIZE	DESIGN VERT. MOVEMENT (IN.)	HORIZ. MOVEMENT (IN.)	INSTALLED LOAD (LB.)	MAX LOAD (LB.)	SPRING RATE (LB./IN.)	LOAD VARIATION	ROD SIZE
1	E268	A	11	0.913	8.325	1870	1560	340	17%	3/4
1	E100	A	12	-2.528	8.174	1773	2152	150	21%	1
1	E88	A	9	-1.853	4.858	861	1047	100	18%	3/4



E	2	REV RESTRAINT TABLE INFO. FOR GUIDES G3 & G4	CLJ	BPLT	DS	3-31	2015
E	1	APPROVED FOR DETAIL ENGINEERING	CLJ	BPLT	DS	3-5	2015

STATUS:  OPEN  IN PROGRESS  COMPLETE

REVISION:  BY  CHK  APP  QA  DATE

NOTICE: THIS DRAWING AND ALL INFORMATION CONTAINED HEREON IS THE SOLE PROPERTY OF HYDRO-CHEM AND SHALL NOT BE REPRODUCED IN ANY MANNER NOR SHALL IT BE USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN FOR WHICH IT HAS BEEN PROVIDED, EXCEPT BY WRITTEN PERMISSION FROM HYDRO-CHEM. REFER TO PROTECTION NOTICE 0011018.

**HYDRO-CHEM**  
A DIVISION OF LINDE ENGINEERING NORTH AMERICA, INC.

PROJ. CLJ DATE: 2-25-15  
CHK: BPLT DATE: 2-4-15  
APP: DS DATE: 2-5-15

SCALE: NONE PROJ. & DES. NO.: &ASA301-000-B-ZA-1000.037

PRAXAIR  
LA PAMPILLA, PERU

REFORMER R-101A  
DOWNCOMER & DETAILS

DRAWN BY: 2


3/31/2015 9:17:17 AM - I:\A001 - La Pampilla\07 Mechanical\07.03 Drawings\07.03.01 Reformer Drawings\A301-1000.037.dwg



ANEXOS

ANEXO 1

DIPLOMATURA DE ESPECIALIZACION DE INGENIERIA DE  
SOLDADURA

  
**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DEL PERU**

**DIPLOMA**


**Diplomatura de Especialización en Ingeniería de  
Soldadura**


La Facultad de Ciencias e Ingeniería otorga el presente diploma a

**JUAN CARLOS PACHECO VALLEJO**

quien ha concluido satisfactoriamente sus estudios y cumplido los requisitos de aprobación de la  
diplomatura realizada del 03 de marzo al 15 de diciembre de 2014 con un total de 452 horas.

Lima, 04 de febrero de 2015

  
**MIGUEL MEJÍA PUENTE**  
Decano

  
**PAUL LEAM SIRIENTES**  
Coordinador

## ANEXO 2

### ASME SECCION IX – TABLA QW-450

**QW-450 SPECIMENS**  
**QW-451 PROCEDURE QUALIFICATION THICKNESS LIMITS AND TEST SPECIMENS**

**Table QW-451.1**  
**Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests**

Thickness $T$ of Test Coupon, Welded in. (mm)	Range of Thickness $T$ of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness $t$ of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Grooved-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	$T$	$2T$	$2t$	2	—	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{1}{4}$ (19)	$\frac{1}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{8}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$\frac{3}{8}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 $T$	$2t$ when $t < \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 $T$	1.33 $T$ when $t \geq \frac{3}{8}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—

**NOTES:**

(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.

(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or  $2T$ , or  $2t$ , whichever is applicable.

(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).

(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness  $T$  is  $\frac{3}{8}$  in. (10 mm) and over.

(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

**Table QW-452.3**  
**Groove-Weld Diameter Limits**

Outside Diameter of Test Coupon, in. (mm)	Outside Diameter Qualified, in. (mm)	
	Min.	Max.
Less than 1 (25)	Size welded	Unlimited
1 (25) to $2\frac{7}{8}$ (73)	1 (25)	Unlimited
Over $2\frac{7}{8}$ (73)	$2\frac{7}{8}$ (73)	Unlimited

**GENERAL NOTES:**

(a) Type and number of tests required shall be in accordance with QW-452.1.

(b)  $2\frac{7}{8}$  in. (73 mm) O.D. is the equivalent of NPS  $2\frac{1}{2}$  (DN 65).

ANEXO 3

ESPECIFICACION SFA-5.14

TABLA 1

Table 1 Chemical Composition Requirements for Nickel and Nickel-Alloy Electrodes and Rods																			
Weight Percent <sup>a,b</sup>																			
AWS Classification <sup>a</sup>	UNS Number <sup>c</sup>	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni <sup>d</sup>	Co	Al	Ti	Cr	Nb(Cb) Plus Ta	Mo	V	W	Other Elements Total	
ERNi-1 <sup>k</sup>	N02061	0.15	1.0	1.0	0.03	0.015	0.75	0.25	93.0 min.	—	1.5	2.0 to 3.5	—	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCu-7 <sup>k</sup>	N04060	0.15	4.0	2.5	0.02	0.015	1.25	Rem	62.0 to 69.0	—	1.25	1.5 to 3.0	—	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCu-8 <sup>k</sup>	N05504	0.25	1.5	2.0	0.03	0.015	1.00	Rem	63.0 to 70.0	—	2.0 to 4.0	0.25 to 1.00	—	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-3 <sup>k,l</sup>	N06082	0.10	2.5 to 3.5	3.0	0.03	0.015	0.50	0.50	67.0 min.	(e)	—	0.75	18.0 to 22.0	2.0 to 3.0 <sup>f</sup>	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-4	N06072	0.01 to 0.10	0.20	0.50	0.02	0.015	0.20	0.50	Rem	—	—	0.3 to 1.0	42.0 to 46.0	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-6 <sup>k</sup>	N06076	0.03 to 0.15	1.00	2.00	0.03	0.015	0.30	0.50	75.0 min.	—	0.40	0.15 to 0.50	19.0 to 21.0	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-7 <sup>i</sup>	N06073	0.03	0.50	1.0	0.02	0.015	0.30	0.30	Rem	1.0	0.75 to 1.20	0.25 to 0.75	36.0 to 39.0	0.25 to 1.00	0.50	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-5 <sup>k</sup>	N06062	0.08	1.0	6.0 to 10.0	0.03	0.015	0.35	0.50	70.0 min.	(e)	—	—	14.0 to 17.0	1.5 to 3.0 <sup>f</sup>	—	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-6 <sup>k</sup>	N07092	0.08	2.0 to 2.7	8.0	0.03	0.015	0.35	0.50	67.0 min.	—	—	2.5 to 3.5	14.0 to 17.0	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-7 <sup>j</sup>	N06052	0.04	1.0	7.0 to 11.0	0.02	0.015	0.50	0.30	Rem	—	1.10	1.0	28.0 to 31.5	0.10	0.50	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-7A <sup>i,p</sup>	N06054	0.04	1.0	7.0 to 11.0	0.02	0.015	0.50	0.30	Rem	0.12	1.10	1.0	28.0 to 31.5	0.5 to 1.0	0.50	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-8 <sup>k</sup>	N07069	0.08	1.0	5.0 to 9.0	0.03	0.015	0.50	0.50	70.0 min.	—	0.4 to 1.0	2.00 to 2.75	14.0 to 17.0	0.70 to 1.20	—	—	—	—	0.50

ANEXO 4

ASME SECCION IX - TABLA QW 432

F-NUMBERS

Table QW-432 F-Numbers Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification (Cont'd)			
F No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
<i>Copper and Copper Alloys (Cont'd)</i>			
34	SFA-56	ECuNi	W58715
34	SFA-57	ERCuNi	C71920
34	SFA-530	EN57	C71921
35	SFA-58	ERCuZn-A	C47000
35	SFA-58	ERCuZn-B	C62070
35	SFA-58	ERCuZn-C	C62100
35	SFA-58	ERCuZn-D	C77300
36	SFA-56	ECuAl-A2	W50504
36	SFA-56	ECuAl-B	W50519
36	SFA-57	ERCuAl-A1	C61000
36	SFA-57	ERCuAl-A2	C61800
36	SFA-57	ERCuAl-A3	C62400
37	SFA-56	ERCuMnNiAl	C60213
37	SFA-56	ERCuNiAl	C60512
37	SFA-57	ERCuMnNiAl	C63320
37	SFA-57	ERCuNiAl	C63720
<i>Nickel and Nickel Alloys</i>			
41	SFA-511	ENi-1	W52141
41	SFA-514	ENiC-1	N02051
41	SFA-530	ENi-1	N02051
42	SFA-511	ENiCr-7	W54190
42	SFA-514	ENiCrC-7	N04050
42	SFA-514	ENiCrC-E	N05504
42	SFA-530	IN59	N04050
43	SFA-511	ENiCr-4	W55172
43	SFA-511	ENiCrCoMo-1	W55117
43	SFA-511	ENiCrFe-1	W55132
43	SFA-511	ENiCrFe-2	W55133
43	SFA-511	ENiCrFe-3	W55122
43	SFA-511	ENiCrFe-4	W55134
43	SFA-511	ENiCrFe-7	W55152
43	SFA-511	ENiCrFe-9	W55094
43	SFA-511	ENiCrFe-10	W55095
43	SFA-511	ENiCrFe-12	W55025
43	SFA-511	ENiCrMo-2	W55082
43	SFA-511	ENiCrMo-3	W55112
43	SFA-511	ENiCrMo-4	W55276
43	SFA-511	ENiCrMo-5	W55082
43	SFA-511	ENiCrMo-6	W55270
43	SFA-511	ENiCrMo-7	W55455
43	SFA-511	ENiCrMo-10	W55022
43	SFA-511	ENiCrMo-12	W55032
43	SFA-511	ENiCrMo-13	W55029
43	SFA-511	ENiCrMo-14	W55025
43	SFA-511	ENiCrMo-17	W55200
43	SFA-511	ENiCrMo-18	W55520
43	SFA-511	ENiCrMo-19	W55052
43	SFA-511	ENiCrWMo-1	W55231
43	SFA-514	ERNiCr-3	N06052

ANEXO 5

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA

(14) Table 331.1.1 Postweld Heat Treatment

P-No. and Group No. (BIV Code Section B, QW/QB-420)	Holding Temperature Range, °C (°F) [Note (1)]	Minimum Holding Time at Temperature for Control Thickness [Note (2)]	
		Up to 50 mm (2 in.)	Over 50 mm (2 in.)
P-No. 1, Group Nos. 1-3	595 to 650 (1,100 to 1,200)	1 h/25 mm (1 hr/in.);	2 hr plus 15 min for each
P-No. 3, Group Nos. 1 and 2	595 to 650 (1,100 to 1,200)	15 min min.	additional 25 mm (in.)
P-No. 4, Group Nos. 1 and 2	650 to 705 (1,200 to 1,300)		over 50 mm (2 in.)
P-No. 5A, Group No. 1	675 to 760 (1,250 to 1,400)		
P-No. 5B, Group No. 1	675 to 760 (1,250 to 1,400)		
P-No. 6, Group Nos. 1-3	760 to 800 (1,400 to 1,475)		
P-No. 7, Group Nos. 1 and 2 [Note (3)]	730 to 775 (1,350 to 1,425)		
P-No. 8, Group Nos. 1-4	PWHT not required unless required by WPS		
P-No. 9A, Group No. 1	595 to 650 (1,100 to 1,200)		
P-No. 9B, Group No. 1	595 to 650 (1,100 to 1,200)		
P-No. 10A, Group No. 1	PWHT not required unless required by WPS. If done, see Note (4).		
P-No. 10I, Group No. 1 [Note (3)]	730 to 815 (1,350 to 1,500)		
P-No. 11A	550 to 585 (1,025 to 1,085) [Note (3)]		
P-No. 15E, Group No. 1	730 to 775 (1,350 to 1,425) [Notes (6) and (7)]	1 h/25 mm (1 hr/in.); 30 min min.	1 h/25 mm (1 hr/in.) up to 125 mm (5 in.) plus 15 min for each addi- tional 25 mm (in.) over 125 mm (5 in.)
P-No. 62	540 to 595 (1,000 to 1,100)	...	See Note (8)
All other materials	PWHT as required by WPS	In accordance with WPS	In accordance with WPS

GENERAL NOTE: The exemptions for mandatory PWHT are defined in Table 331.1.3.

NOTES:

- (1) The holding temperature range is further defined in para. 331.1.6(k) and Table 331.1.2.
- (2) The control thickness is defined in para. 331.1.3.
- (3) Cooling rate shall not be greater than 55°C (100°F) per hour in the range above 650°C (1,200°F), after which the cooling rate shall be sufficiently rapid to prevent embrittlement.
- (4) If PWHT is performed after welding, it shall be within the following temperature ranges for the specific alloy, followed by rapid cooling:
  - Alloys S31803 and S32205 — 1 020°C to 1 100°C (1,870°F to 2,010°F)
  - Alloy S32550 — 1 040°C to 1 120°C (1,900°F to 2,050°F)
  - Alloy S32750 — 1 025°C to 1 125°C (1,880°F to 2,060°F)
  - All others — 900°C to 1 040°C (1,600°F to 1,900°F)
- (5) Cooling rate shall be >165°C (300°F)/h to 315°C (600°F)/h.
- (6) The minimum PWHT holding temperature may be 720°C (1,325°F) for nominal material thicknesses [see para. 331.1.3(c)] ≤ ½ in. (13 mm).
- (7) The Ni + Mn content of the filler metal shall not exceed 1.2% unless specified by the designer, in which case the maximum temperature to be reached during PWHT shall be the A<sub>1</sub> (lower transformation or lower critical temperature) of the filler metal, as determined by analysis and calculation or by test, but not exceeding 800°C (1,470°F). If the 800°C (1,470°F) limit was not exceeded but the A<sub>1</sub> of the filler metal was exceeded or if the composition of the filler metal is unknown, the weld must be removed and replaced. It shall then be rewelded with compliant filler metal and subjected to a compliant PWHT. If the 600°C (1,100°F) limit was exceeded, the weld and the entire area affected by the PWHT will be removed and, if reused, shall be renormalized and tempered prior to reinstallation.
- (8) Heat treat within 14 days afterwelding. Hold time shall be increased by 1.2 h for each 25 mm (1 in.) over 25 mm (1 in.) thickness. Cool to 425°C (800°F) at a rate ≤280°C (500°F).

## ANEXO 6

### ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE APORTE

**GTAW**

**Níquel y Aleaciones**

**SOLDEXA**

**TIGFILERNIC-3**

Vazilla sólida para el proceso TIG (GTAW), para la soldadura de aleaciones del tipo INCONEL tipo 600, 601 y 690, aleaciones INCOLOY tipo 300, 800 y 800 HT. El metal depositado tiene alta resistencia

Clasificación	
AMS 5514 / ASME-SFA-5.14	ERNiCr-3

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos\*) [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Fe	Nb+Ta	Otros
0.10max	2.5-3.5	0.50 max	0.030 max	0.015 max	18-22	67.0 mín	3.0 MÁX	2-3	Ti=0.2max; Cu=0.5 máx Otros=0.5 máx

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (20°C) [J]
Sin tratamiento	>550 (79750)	>400 (5800)	>22	[+20 °C (-4 °F)] >47

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>• No requiere almacenamiento bajo horno.</li> </ul>

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc. 

Parámetros de Soldado Recomendados

Díametro [mm (pulg.)]	2,40 (3/32")	3,20 (1/8")
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN)	
Gas protector	100% Ar	
Amperaje [A]	20 - 150	30 - 250
Voltaje [V]	9 - 15	10 - 20
Stick out [mm]	-	
Flujo de Gas [l/min]	5 - 15	5 - 15

Aplicaciones

- Utilizado en la fabricación de recipientes a presión, cilindros y tuberías sometido a temperaturas de hasta 507°C.
- En la unión de planchas ASTM A240 o tuberías ASTM A335 - P1 y otros aceros aliados al 0.5% Molibdeno empleados a temperaturas críticas de servicio intermedias.
- Para soldar aceros estructurales de grano fino, aceros de medio carbono y aceros de baja aleación y alta resistencia.

## ANEXO 7

### ADECUACIÓN DEL TIPO DE SUMINISTRO DE CORRIENTE

**TABLE A1**  
**SUITABILITY OF CURRENT SUPPLY TYPE**

Type of Metal or Alloy to Be Welded	Direct Current		Alternating Current
	Electrode Negative (-)	Electrode Positive (+)	
Aluminum and its alloys, thickness ≤2.5 mm [0.10 in.]	Acceptable	Acceptable	Best
Aluminum and its alloys, thickness >2.5 mm [0.10 in.]	Acceptable	N.R. <sup>a</sup>	Best
Magnesium and its alloys	N.R.	Acceptable	Best
Nonalloy (carbon) steels and low alloy steels	Best	N.R.	N.R.
Stainless steels	Best	N.R.	N.R.
Copper	Best	N.R.	N.R.
Bronze	Best	N.R.	Acceptable
Aluminum bronze	Acceptable	N.R.	Best
Silicon bronze	Best	N.R.	N.R.
Nickel and its alloys	Best	N.R.	Acceptable
Titanium and its alloys	Best	N.R.	Acceptable

NOTE:

a. N.R. = Not recommended.

**TABLE A2**  
**APPROXIMATE CURRENT RANGES DEPENDING UPON THE ELECTRODE DIAMETER**

Electrode Diameter		Direct Current, A				Alternating Current, A	
		Electrode Negative (-)		Electrode Positive (+)		Pure Tungsten	Tungsten With Oxide Additives
mm	in.	Pure Tungsten	Tungsten With Oxide Additives	Pure Tungsten	Tungsten With Oxide Additives	Pure Tungsten	Tungsten With Oxide Additives
0.25	0.010	Up to 15	Up to 15	Not applicable	Not applicable	Up to 15	Up to 15
0.30	...	Up to 15	Up to 15	Not applicable	Not applicable	Up to 15	Up to 15
0.50	0.020	2 to 20	2 to 20	Not applicable	Not applicable	2 to 15	2 to 15
1.0	0.040	10 to 75	10 to 75	Not applicable	Not applicable	15 to 55	15 to 55
1.5	0.060	60 to 150	60 to 150	10 to 20	10 to 20	45 to 90	60 to 125
1.6	...	60 to 150	60 to 150	10 to 20	10 to 20	45 to 90	60 to 125
2.0	...	75 to 180	100 to 200	15 to 25	15 to 25	65 to 125	85 to 160
2.4	0.093 ( $\frac{3}{32}$ )	120 to 220	150 to 250	15 to 30	15 to 30	80 to 140	120 to 210
2.5	...	130 to 230	170 to 250	17 to 30	17 to 30	80 to 140	120 to 210
3.0	...	150 to 300	210 to 310	20 to 35	20 to 35	140 to 180	140 to 230
3.2	0.125 ( $\frac{1}{8}$ )	160 to 310	225 to 330	20 to 35	20 to 35	150 to 190	150 to 250
4.0	0.156 ( $\frac{5}{32}$ )	275 to 450	350 to 480	35 to 50	35 to 50	180 to 260	240 to 350
4.8	0.187 ( $\frac{3}{16}$ )	380 to 600	480 to 650	50 to 70	50 to 70	240 to 350	330 to 450
6.3	...	550 to 875	650 to 950	65 to 100	65 to 100	300 to 450	430 to 575
6.4	0.250 ( $\frac{1}{4}$ )	575 to 900	750 to 1 000	70 to 125	70 to 125	325 to 450	450 to 600
8.0	...	...	...	...	...	...	650 to 830
10.0	...	...	...	...	...	...	...

GENERAL NOTES:

(a) The current values are based on the use of argon gas, and these values may vary depending on the type of shielding gas, type of equipment, and application.

(b) If no value is given, no recommendation is available.

ANEXO 8

CERTIFICADO DE NIVEL II EN INSPECCION VISUAL



www.iccsudameris.org

This Certification is intended for employer use on behalf of the Employee. According with International Practice ASNT-TC-1a, the contractor employer's certification will remain valid only for the period of the contract. The employer's certification shall be declared null and void when contract is terminated.

Be known that in accordance to the documentation provided to this agency and the examination scores below

JUAN CARLOS PACHECO

Has meet the established written and published requirements of ASNT SNT-TC-1A 2006 for Level II(limited) in

VT- VISUAL TESTING - WELDS

EXAMINATION	SCORE	ADMINISTERED BY	DATE
GENERAL	87,0%	H. Silveira	JUL- 13 - 12
SPECIFIC	82,0%	H. Silveira	JUL- 13 - 12
PRACTICAL	81,0%	A.M. Hernandez	JUL- 13 - 12
COMPOSITE SCORE	85,0%		
REQUIRED EXPERIENCE	MEETS		
FORMAL TRAINING	MEETS		
VISUAL ACUITY EXAM	MEETS		
CERTIFICATION NUMBER	C120304VT		
VALID DATE	JUL - 13 - 12		
EXPIRATION DATE	JUL - 13 - 17		

This certificate is issued as evidence that the required examinations; General, Practical and Specific has been satisfactory completed and the Certification in accordance with Employer's written practice, can proceed.

Signature of ASNT Level II NDT

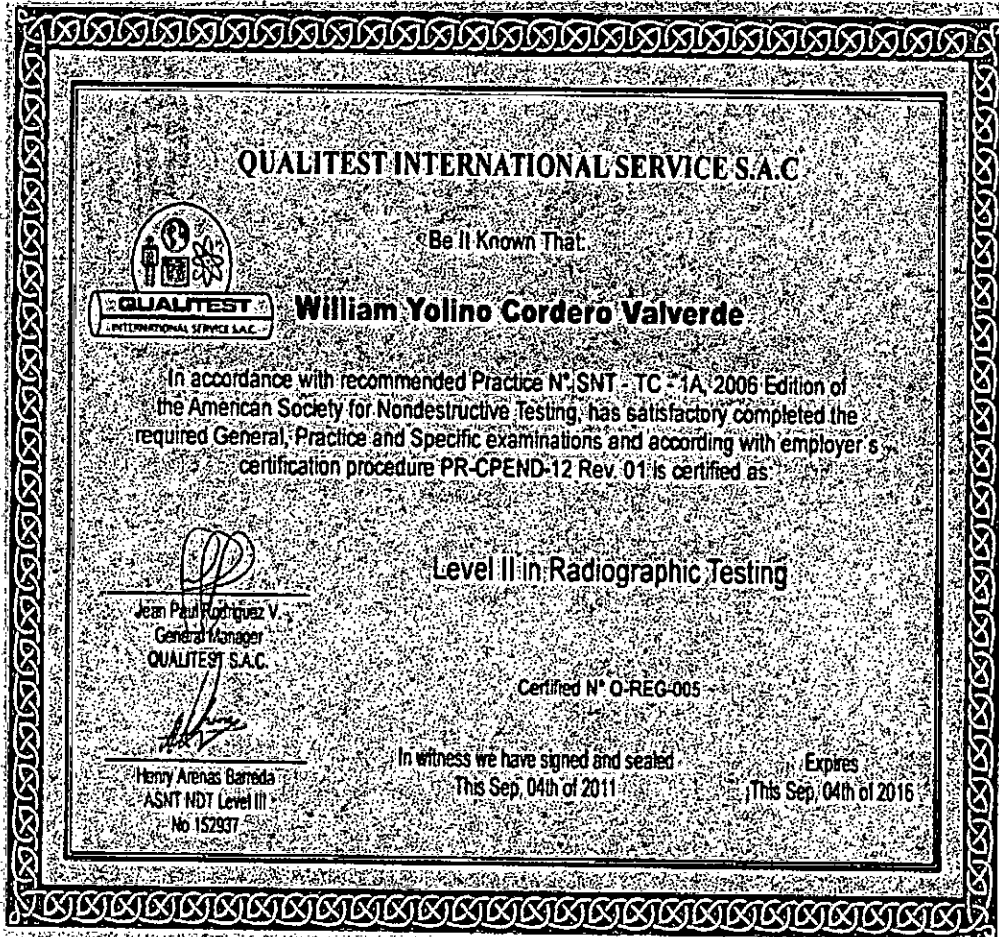


Signature of Administrative Director  
Ricardo M. Rodriguez  
ASNT Level II Practitioner  
Card N° 87664  
Administrative Director



ANEXO 9

CERTIFICADO DE NIVEL II-EN GAMMAGRAFIA



ANEXO 10

CRITERIOS DE INSPECCION VISUAL

TABLA 341.3.2

Table 341.3.2 Acceptance Criteria for Welds – Visual and Radiographic Examination

Criteria (A to M) for Types of Welds and for Service Conditions (Note C1)										Weld Imperfection	Examination Methods	
Normal and Category III Field Service			Severe Cyclic Conditions			Category D Field Service					Visual	Radiography
Type of Weld			Type of Weld			Type of Weld						
Cracks, Miller Grooves & Branch Connections (Note C2)	Longitudinal Groove (Note C3)	Fillet (Note A1)	Cracks, Miller Grooves & Branch Connections (Note C2)	Longitudinal Groove (Note C3)	Fillet (Note A1)	Cracks and Miller Grooves	Longitudinal Groove (Note C3)	Fillet (Note A1)	Branch Connection (Note C2)			
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	Rounded indications	...	✓
										Internal slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated inclusion	...	✓
G	G	N/A	F	F	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Undercutting	✓	✓
H	A	H	A	A	A	I	A	H	H	Surface porosity or exposed slag inclusion (Note C3)	✓	...
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Surface finish	✓	...
WA	N/A	N/A	J	J	J	N/A	N/A	N/A	N/A	Concave surface	✓	✓
K	K	N/A	K	K	N/A	K	K	N/A	K	Weld reinforcement or internal protrusion	✓	...
L	L	L	L	L	L	M	M	M	M			

GENERAL NOTES:


- (1) Weld imperfections are evaluated by one or more of the types of examination methods given, as specified in parts 341.4.1, 341.4.2, 341.4.3, and 341.4.4, or by the engineering design.
- (2) "N/A" indicates the Code does not establish acceptance criteria or does not require evaluation of this kind of imperfection for this type of weld.
- (3) Check (✓) indicates examination method generally used for evaluating this kind of weld imperfection.
- (4) Ellipses (...) indicates examination method not generally used for evaluating this kind of weld imperfection.

Criterion Value Notes for Table 341.3.2

Symbol	Criterion	Measure	Acceptable Value Limits (Note C1)
A	Extent of imperfection		Zero (no evident imperfection)
B	Cumulative length of incomplete penetration		≤ 38 mm (1.5 in.) in any 150 mm (6 in.) weld length or 25% of total weld length, whichever is less
C	Cumulative length of lack of fusion and incomplete penetration		≤ 38 mm (1.5 in.) in any 150 mm (6 in.) weld length or 25% of total weld length, whichever is less
D	Size and distribution of rounded indications		See BPW Code, Section VIII, Division 1, Appendix 4
E	Size and distribution of rounded indications		For $\bar{T}_w \leq 6$ mm ( $\frac{1}{4}$ in.), limit is same as D For $\bar{T}_w > 6$ mm ( $\frac{1}{4}$ in.), limit is 3.5 x D
F	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	Individual length Individual width Cumulative length	≤ $\bar{T}_w/3$ ≤ 2.5 mm ( $\frac{1}{8}$ in.) and ≤ $\bar{T}_w/3$ ≤ $\bar{T}_w$ in any 12 $\bar{T}_w$ weld length
G	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	Individual length Individual width Cumulative length	≤ $2\bar{T}_w$ ≤ 3 mm ( $\frac{1}{8}$ in.) and ≤ $\bar{T}_w/2$ ≤ 4 $\bar{T}_w$ in any 150 mm (6 in.) weld length
H	Depth of undercut		≤ 1 mm ( $\frac{1}{32}$ in.) and ≤ $\bar{T}_w/4$
J	Depth of undercut		≤ 1.5 mm ( $\frac{1}{16}$ in.) and ≤ $\bar{T}_w/4$ or 1 mm ( $\frac{1}{32}$ in.)
K	Surface roughness		≤ 500 msh, $R_a$ in accordance with ASME B46.1
L	Depth of surface concavity		Total joint thickness, incl. weld reinf., ≥ $\bar{T}_w$ (Note D1)
L	Height of reinforcement or internal protrusion (Note D2) 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 D3. Weld metal shall merge smoothly into the component surfaces.		For $\bar{T}_w$ , mm (in.) ≤ 6 (1/4) > 6 (1/4), ≤ 13 (1/2) > 13 (1/2), ≤ 25 (1) > 25 (1) Height, mm (in.) ≤ 1.5 (1/4) ≤ 3 (3/8) ≤ 4 (3/4) ≤ 5 (5/8)
M	Height of reinforcement or internal protrusion (Note D3) as described in L. Note D3 does not apply.		Limit is twice the value applicable for L above

ANEXO 11

REPORTE DE RADIOGRAFIA

		<b>REPORTE DE EXAMINACION RADIOGRAFICA</b>		Código: <b>RF-01-PR-EER-20</b>	
				Revisión: <b>11-07-00</b>	
				Fecha: <b>21-October-2009</b>	
				Página: <b>1 de 1</b>	
Cliente: <b>HAUGSA</b>					
Proyecto: <b>MONTAJE ELECTROMECANICO DE UNIDADES DE PRODUCCION DE HIDROGENO Y CO2 LIQUIDO</b>					
Tipo de Material: <b>SA-407(NICOLOY)</b>					
Tipo de Película: <b>KODAK T-200</b>					
Fuente: <b>1927 Aci. en Gp.</b>					
Tiempo de Revelado: <b>5 minutos</b>					
Método de Inspección: <b>100% T-200</b>					
Criterio de Aceptación: <b>ASME Sección IX, Edición 2015</b>					
Inspeccionada por: <b>Alberto Alvarado / Jaime Ochoa</b>					
Fecha de Inspección: <b>02-October-2015</b>					
Inspector Nivel II SNT: <b>William Cordero Valverde</b>					
Criterio de Aceptación: <b>ASME Sección IX, Edición 2015</b>					
Inspeccionada por: <b>Alberto Alvarado / Jaime Ochoa</b>					
Fecha de Inspección: <b>02-October-2015</b>					
Inspector Nivel II SNT: <b>William Cordero Valverde</b>					
Criterio de Aceptación: <b>ASME Sección IX, Edición 2015</b>					
Inspeccionada por: <b>Alberto Alvarado / Jaime Ochoa</b>					
Fecha de Inspección: <b>02-October-2015</b>					
Inspector Nivel II SNT: <b>William Cordero Valverde</b>					

Identificación	Número de Película	Resultado	Tipo y Ubicación de Discontinuidad y Defectos	Código de Soldador	Observaciones
PROBETA	P1	OK			
	P2	OK			
	P3	OK			
	P4	OK			
	P5	OK			
	P6	OK			
	P7	OK			
	P8	OK			
	P9	OK			
	P10	OK			
	P11	OK			
	P12	OK			
	P13	OK			
	P14	OK			
	P15	OK			
	P16	OK			
	P17	OK			
	P18	OK			
	P19	OK			
	P20	OK			
	P21	OK			
	P22	OK			
	P23	OK			
	P24	OK			
	P25	OK			
	P26	OK			
	P27	OK			
	P28	OK			
	P29	OK			
	P30	OK			
	P31	OK			
	P32	OK			
	P33	OK			
	P34	OK			
	P35	OK			
	P36	OK			
	P37	OK			
	P38	OK			
	P39	OK			
	P40	OK			
	P41	OK			
	P42	OK			
	P43	OK			
	P44	OK			
	P45	OK			
	P46	OK			
	P47	OK			
	P48	OK			
	P49	OK			
	P50	OK			

C	Fuente	II	Inclusión de Turbidez	Medición de Durezas	Replicado Manual
LF	Falta de Fusión	CI	Indicación Alargada	Medición de Durezas	Replicado Manual
IP	Falta de Penetración	CR	Superficie Cercada de la Raiz	Medición de Durezas	Replicado Manual
P	Porosidad Interna	III	Acabado Interno de la Raiz	Medición de Durezas	Replicado Manual
SI	Inclusión de Escoria	IV	Acabado Externo	Medición de Durezas	Replicado Manual




ANEXO 12

TABLA QW422

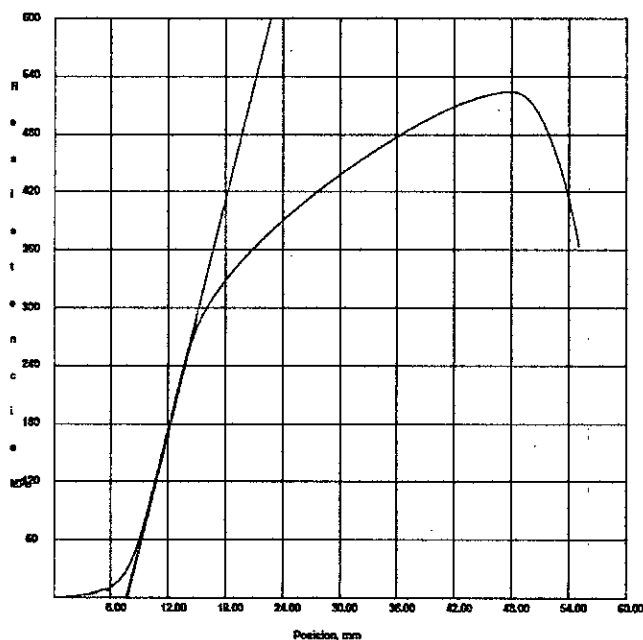
Table QW/QB-422 Ferrous/Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)								
Spec. No.	UNS No.	Alloy, Type, or Grade	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding	Brazing	ISO 15608 Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	P-No.			
Nonferrous (Cont'd)								
B/5B-381	R50400	F-2	50 (345)	51	115	51	Ti	Forgings
B/5B-381	R50400	F-2H	58 (400)	51	115	...	Ti	Forgings
B/5B-381	R50550	F-3	65 (450)	52	115	52	Ti	Forgings
B/5B-381	R52400	F-7	50 (345)	51	115	51	Ti-Pd	Forgings
B/5B-381	R52400	F-7H	58 (400)	51	115	...	Ti-Pd	Forgings
B/5B-381	R52402	F-16	50 (345)	51	115	51	Ti-Pd	Forgings
B/5B-381	R52402	F-16H	58 (400)	51	115	...	Ti-Pd	Forgings
B/5B-381	R52404	F-26	50 (345)	51	115	51	Ti-Ru	Forgings
B/5B-381	R52404	F-26H	58 (400)	51	115	...	Ti-Ru	Forgings
B/5B-381	R53400	F-12	70 (485)	52	115	52	Ti-0.33Mo-0.05N	Forgings
B/5B-381	R56320	F-9	90 (620)	53	115	53	Ti-3Al-2.5V	Forgings
B/5B-381	R56323	F-28	90 (620)	53	115	53	Ti-3Al-2.5V-0.1Fe	Forgings
B/5B-395	C10200	-	30 (205)	31	107	31	99.95Cu-P	Seals, tube
B/5B-395	C12050	-	30 (205)	31	107	31	99.90Cu-P	Seals, tube
B/5B-395	C12200	-	30 (205)	31	107	31	99.90Cu-P	Seals, tube
B/5B-395	C14200	-	30 (205)	31	107	31	99.40Cu-As-P	Seals, tube
B/5B-395	C19200	-	30 (205)	31	107	31	99.70Cu-Fe-P	Seals, tube
B/5B-395	C23000	-	40 (275)	32	107	32.1	65Cu-15Zn	Seals, tube
B/5B-395	C44300	-	45 (310)	32	107	32.2	71Cu-28Zn-15Sn-0.06As	Seals, tube
B/5B-395	C44400	-	45 (310)	32	107	32.2	71Cu-28Zn-15Sn-0.06Sb	Seals, tube
B/5B-395	C44500	-	45 (310)	32	107	32.2	71Cu-28Zn-15Sn-0.06P	Seals, tube
B/5B-395	C60800	-	50 (345)	35	108	35	95Cu-5Al	Seals, tube
B/5B-395	C68700	-	50 (345)	32	108	32.2	78Cu-20Zn-2Al	Seals, tube
B/5B-395	C70600	-	40 (275)	34	107	34	90Cu-10Ni	Seals, tube
B/5B-395	C71000	-	45 (310)	34	107	34	80Cu-20Ni	Seals, tube
B/5B-395	C71500	-	52 (360)	34	107	34	70Cu-30Ni	Seals, tube
B/5B-407	N08120	-	90 (620)	45	111	45	37Ni-33Fe-25Cr	Seals, pipe & tube
B/5B-407	N08800	-	75 (515)	45	111	45	33Ni-42Fe-21Cr	Seals, pipe & tube
B/5B-407	N08901	-	65 (450)	45	111	45	32Ni-45Fe-20.5Cr-Ti	Seals, pipe & tube
B/5B-407	N08910	-	65 (450)	45	111	45	33Ni-42Fe-21Cr	Seals, pipe & tube
B/5B-407	N08911	-	65 (450)	45	111	45	33Ni-42Fe-21Cr-Al-Ti	Seals, pipe & tube
B/5B-408	N08120	-	90 (620)	45	111	45	37Ni-33Fe-25Cr	Rod & bar
B/5B-408	N08800	-	75 (515)	45	111	45	33Ni-42Fe-21Cr	Rod & bar

ANEXO 13

INFORME DE ENSAYO DE TRACCION DE PROBETA T1 Y T2

SOLDEXA <small>INSTRUMENTACIÓN S.A.S</small>		INFORME DE ENSAYO DE TRACCION										LAB-112 Ejecución 03											
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052</b>																							
<b>Razón Social (Nombre Cliente):</b> Departamento Técnico de Lima Dirección : Av. Nicolás Ariola 771 - La Victoria Teléfono : 01-619-0800 Anexo 3454 Contacto : Ing. Luis Chirra Referencia: HAUG S.A. Descripción de la Muestra: Probetas Planas Fecha de Informe : 2015-10-19 Informe de Ensayo N° : ET-2015-319		 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-052		<b>Sección Transversal</b>		<b>Límite de Fluencia</b>		<b>Resistencia a la Tracción</b>		<b>% Elongación</b>													
<b>Identificación de las Probetas</b>		Ancho mm		Espesor mm		Diámetro mm		Área mm <sup>2</sup>		Fluencia MPa		Máxima N		Máxima MPa		N		Máxima MPa		No Aplica		No Aplica	
PCB-292-T1 PCB-292-T2		19.00 19.02		18.98 19.02		No Aplica No Aplica		361.38 362.71		100.63 103.045		180282 180268		524 541		No Aplica No Aplica							
<b>Observaciones :</b> Material Base: B5B-407 Material de Aporte: ERNiO-3 Proceso: GTAW Posición: 0G Para la roturas ver gráficos adjuntas.																							
Las Dimensiones de las Probetas Si (D) / No (L) Cumplen con la Norma: ASME IX - 2015 Método de Ensayo: ASTM A370-14 Equipo Usado: Marca Trévis Olsen Super L 120 - N° Serie 173935 Código Interno del Equipo: CC-E-41 Temperatura de Ensayo (°C): 24.07C Nombre del Analista: José Soto Fecha de Recepción de las Probetas: 2015-10-14 Fecha de Ejecución de Ensayo: 2015-10-14																							
1. Las Probetas han sido suministradas por el Cliente. 2. La Incertidumbre Expandida es 5 MPa (Tracción y Fluencia) y 1% (Elongación) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldadura. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.																							
 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requiza Villanueva CIP: 101024												 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233											
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurin - Lima - Perú Correo: jose.soto@esab.com.pe 1 de 1																							

## GRAFICA DE PROBETA T1

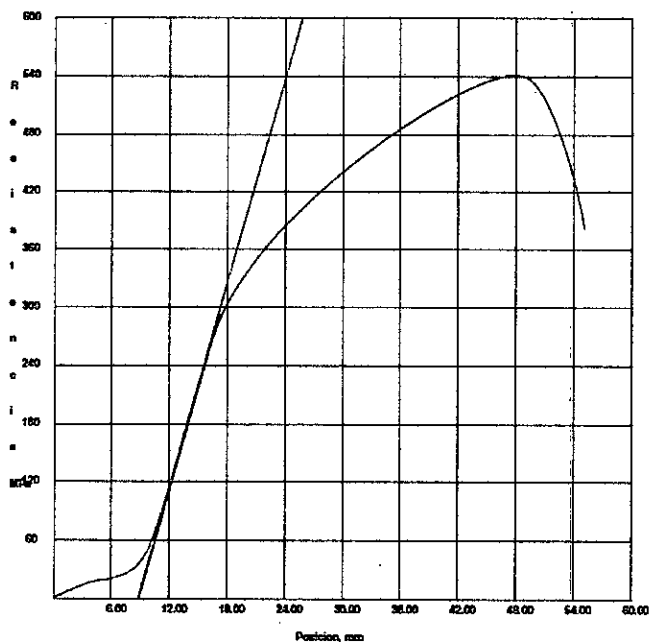


SOLDEX S.A.  
LAB-F-34 Edición 01  
Reporte y Gráfica Ensayo Tracción  
Lurín-Lima-Perú

**ASTM A370-14**

Ensayista	José Soto
Nº Ensayo:	ET-2015-319
Id. Probeta:	PCR-292-T1
a) Ancho, mm:	19.06
b) Espesor, mm:	18.96
Area, mm²:	361.28
c) Lon. Sec. Reducida, mm:	53.26
d) Lon. Sec. Agarre, mm:	100.99
e) Lon. Total Probeta, mm:	303.00
f) Radio, mm:	24.00
L. Fluencia, N:	100948
L. Fluencia, MPa:	279
Fuerza Máxima, N:	189282
R. Tracción, MPa:	524
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
Elongación, %:	0
Fecha Ensayo:	2015/10/14
Hora:	09:58
Tº Ensayo:	24.00
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Certificación:	ASME IX-2015
Revisado por:	Ing. Roquejo

## GRAFICA DE PROBETA T2



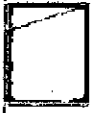

SOLDEX S.A.  
LAB-F-34 Edición 01  
Reporte y Gráfica Ensayo Tracción  
Lurín-Lima-Perú

**ASTM A370-14**

Ensayista	José Soto
Nº Ensayo:	ET-2015-319
Id. Probeta:	PCR-292-T2
a) Ancho, mm:	19.07
b) Espesor, mm:	19.02
Area, mm²:	362.71
c) Lon. Sec. Reducida, mm:	53.51
d) Lon. Sec. Agarre, mm:	110.00
e) Lon. Total Probeta, mm:	303.00
f) Radio, mm:	24.00
L. Fluencia, N:	103045
L. Fluencia, MPa:	284
Fuerza Máxima, N:	196288
R. Tracción, MPa:	541
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
Elongación, %:	0
Fecha Ensayo:	2015/10/14
Hora:	10:07
Tº Ensayo:	24.00
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Certificación:	ASME IX-2015
Revisado por:	Ing. Roquejo

**ANEXO 14**

**REPORTE DE DOBLES DE LADO**

	<b>REGISTRO DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO</b>			<b>HAUG / REDG</b>	
				Hoja:	1 de 1
				Emision:	30/05/2011
				Revisor:	0
Registro N° <b>REDG-001-2015</b>					
<b>CODIGO DE REFERENCIA</b> ASME IX Edicion 2015			<b>LUGAR DE PRUEBA</b> Planta Lurín		
<b>MATERIAL BASE</b> 6E-407 (INCOLOY 800 HT)			<b>INSTRUMENTOS USADOS</b> Pie de rey		
<b>FECHA:</b> 14/10/2015			<b>ENSAYO REQUERIDO PARA:</b> PQR-292		
<b>REALIZADO POR:</b> Juan Carlos Pacheco Vallejo					
<b>DATOS DE LA MUESTRA / PROBETA</b>					
	<b>Item</b>	<b>Identificacion</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Largo (mm)</b>
	1	PQR-292-DL1	10	19.02	200
	2	PQR-292-DL2	10	18.96	199
	3	PQR-292-DL3	10	18.96	199
	4	PQR-292-DL4	10	19.01	200
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>					
	<b>Item</b>	<b>Identificacion</b>	<b>Tipo de dobléz</b>	<b>Discontinuidad</b>	<b>Resultado</b>
	1	PQR-292-DL1	Lado	ninguna	conforme
	2	PQR-292-DL2	Lado	ninguna	conforme
	3	PQR-292-DL3	Lado	ninguna	conforme
	4	PQR-292-DL4	Lado	ninguna	conforme
					
<b>Observaciones</b>					

**ANEXO 15**

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO**