

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**IMPLEMENTACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA EN LA  
FABRICACION DE UN TANQUE AGITADOR DE ACERO  
INOXIDABLE DE 12M<sup>3</sup>**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECANICO**

**RONAL JOHNNY PALOMINO NOLASCO**

**PROMOCION 2007-II**

**LIMA-PERU**

2 0 1 1

## INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 OBJETIVO	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 LIMITACIONES	4
1.4 JUSTIFICACIONES	5
CAPITULO II	
DESARROLLO DE UN PLAN DE CALIDAD	6
2.1 DESCRIPCION DE LA GESTION DE CALIDAD	6
2.2 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD	7
2.2.1 Selección de Materiales	7
2.2.2 Recepción de Materiales y Suministros	8
2.2.3 Habilitado de materiales	8
2.2.4 Armado de estructura y conexiones	8
2.2.5 Soldadura MIG	8
2.2.6 Pruebas de Estanqueidad Hidrostática	9
2.2.7 Pruebas Hidrostáticas	9
2.2.8 Prueba Radiográfica de juntas soldadas	9

2.2.9 Pruebas al Motorreductor	9
2.2.10 Pruebas en Vacío del tanque agitador	10

### CAPITULO III

APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE FABRICACIÓN	12
3.1 NORMAS Y CODIGOS	12
3.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	13
3.2.1 Recomendaciones para la Instalación mecánica	14
3.2.2 Recomendaciones para la Conexión eléctrica	14
3.2.3 Recomendaciones para la Puesta en marcha	15

### CAPITULO IV

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION	16
4.1 PROTOCOLOS DE INSPECCIÓN	16
4.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	24

### CAPITULO V

MATERIAL DE FABRICACION	31
5.1 ACEROS INOXIDABLES	31
5.1.1 Tipos de aceros inoxidables:	31
5.1.2 Designación de los aceros inoxidables	32
5.1.3 Aceros inoxidables austeníticos	32
5.1.4 Porqué son inoxidables?	34
5.2 CORROSIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES	34

5.3	SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS	36
5.4	LIMPIEZA Y MANIPULACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES	39
5.4.1	Manipulación y descontaminación	39
5.4.2	Limpieza previa al soldeo	40
5.4.3	Limpieza y decapado posterior al soldeo	41
5.5	METALES DE APORTACIÓN	42
5.6	PROCESO DE SOLDEO	44
5.6.1	Soldeo por arco con electrodo revestido	44
5.6.2	Soldeo TIG	48
5.6.3	Soldeo MIG/MAG	49
5.6.4	Soldeo por arco con alambre tubular	51
5.6.5	Soldeo por arco sumergido	51
5.7	DISEÑO DE UNIÓN	52
5.8	SOLDEO FUERTE	56
5.9	SOLDEO BLANDO	56
5.9	CORTE TERMICO	58

## CAPITULO VI

	IMPLEMENTACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	59
6.1	ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)	59
6.2	CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)	69
6.3	CALIFICACIÓN DE LA HABILIDAD Y DESEMPEÑO DE UN SOLDADOR (WPQ)	79

## CAPITULO VII

## ESTIMACION DE COSTOS POR PRUEBA Y CALIFICACION

DE PERSONAL 85

6.1 VALORIZACIÓN POR PRUEBA Y CALIFICACIÓN 85

CONCLUSIONES 87

RECOMENDACIONES 89

BIBLIOGRAFIA 90

PLANOS

ANEXOS

***DEDICATORIA***

Con mucho cariño para mis padres y hermanos por todos los momentos que pasamos y a mis dos tías Zarita y Marta que siempre han estado conmigo apoyándome desde pequeño.

## PROLOGO

Todo comienza con la necesidad de realizar algo nuevo, que permita el crecimiento de las personas y el esfuerzo de las mismas, con este proyecto, lo hicimos posible.

Así tenemos, que para iniciar algo nuevo debemos plantear antes una guía, un procedimiento, controles y tareas que nos ayuden a llevar nuestro proyecto confiablemente y garantizar la calidad del producto.

Por esta razón se *desarrolla un plan de calidad*. Luego de habernos planteado ya una guía para el proceso de producción, debemos alinear nuestros procesos a las exigencias y requerimientos de la *norma de fabricación*, a manera de cubrir las expectativas por tema de falla y asegurar el estándar de fabricación. Esto nos llevo a realizar *procedimientos de inspección*, basado en los criterios de aceptación de la norma de fabricación. También nos ayudara a guardar cierta tolerancia en la fabricación.

Como todo proyecto involucra un conocimiento de lo que se está trabajando, en nuestro caso el *material de fabricación* fue lo más importante para superarnos, es decir el cuidado, la manipulación, la técnica para realizar una unión aceptable. Por

esta razón se *implementa un nuevo procedimiento de soldadura*, donde se califica y se prueba la unión soldada y el soldador. Finalmente se consiguió cubrir y resolver la soldadura de producción. Terminando en una estimación de costos por prueba y calificación de personal.

Para terminar agradezco a la empresa TAMA INGENIEROS SAC, por brindarme la oportunidad para conducir esta implementación, así como a mis ex compañeros de trabajo. Así también a los inspectores de soldadura Felipe Yáñez Coz y Freddy Giraldo.



# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Como una necesidad de las empresas metalmecánicas para abarcar mayor campo, estas comenzaran desarrollándose y especializándose en ciertos trabajos que frecuentemente son repetitivos, los cuales, no siempre van emplear los mismos materiales en la fabricación.

Así tenemos que para la fabricación de un sistema de agitación de soluciones y mezclas de minerales, el cual consta de un tanque de acero inoxidable, un puente soporte del mecanismo y el mecanismo de agitación. Todo este sistema para la refinería de Cajamarquilla ubicada en Lima distrito de Lurigancho-Chosica, para esto se tuvo que implementar el proceso de soldadura en taller, pues con el proceso convencional de emplear electrodo revestido, nos hubiera tomado más tiempo fabricarlo. Este sistema de agitación va estar expuesto al medio ambiente el cual va contener soluciones acidas para la recuperación del mineral. Por ello se empleo el material de acero inoxidable 316L, para la parte del tanque, el cual llevara ciertas conexiones. Además cabe recordar que para tal fabricación se tiene que emplear la norma API650 que sirve para la construcción de tanques de almacenamiento de acero soldado. Gracias a este proyecto se desarrollo y mejoro el proceso.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo General**

El objetivo del presente informe es implementar procedimientos de soldadura para la fabricación de un tanque agitador de acero inoxidable.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos, los cuales se encuentran enmarcados en el objetivo general son los siguientes:

- Mejorar la gestión de calidad para el proceso de fabricación de tanques de acero inoxidable por soldadura, en taller.
- Desarrollar y Calificar Procedimientos de Soldadura para soldar acero inoxidable por el proceso GMAW.
- Preparar y calificar soldadores para trabajos en acero inoxidable.
- Indicar las normas y códigos de construcción usados en la actualidad para este tipo de fabricaciones.
- Brindar una guía de orientación para soldar acero inoxidable en la fabricación del tanque.

## **1.3 LIMITACIONES**

El presente informe se vio limitado en cuanto al manejo de información técnica y teórica especializada en soldadura de aceros inoxidables. Así también como gráficas que permitan agilizar una buena regulación de los parámetros de soldeo. También falta de claridad en cuanto al uso de la norma, para volúmenes pequeños.

## 1.4 JUSTIFICACIONES

La mayoría de las empresas metalmecánicas, que se inician en talleres pequeños, tienen la necesidad de aprovechar mejor el espacio de trabajo, lo cual lleva a tener que mejorar sus procesos, por ello se busca que cuenten con los mínimos requerimientos para que puedan cumplir con calidad y eficiencia sus fabricaciones. Así también dar una guía de orientación en la aplicación de la soldadura para acero inoxidable y los cuidados que se deben tener para su ejecución en la fabricación de tanques agitadores. Tener información más específica para soldar acero inoxidable empleando el proceso GMAW (MIG/MAG), así como conocer los accesorios y consumibles con los que debe contar el equipo de soldar para este proceso.

Además los resultados de las pruebas, nos pueden ayudar a generar su información, para su aplicación.

## **CAPITULO II**

### **DESARROLLO DE UN PLAN DE CALIDAD**

Para iniciar el proyecto de fabricación se desarrollo el siguiente plan de calidad bajo los siguientes parámetros:

Especificaciones proporcionadas por el cliente, estándares, normas nacionales e internacionales e información de los fabricantes de los equipos eléctricos y suministros.

#### **2.1 DESCRIPCION DE LA GESTION DE CALIDAD**

Se realiza un control de los siguientes partes del proceso:

- Selección de Materiales
- Recepción de Materiales y suministros
- Habilitado de materiales.
- Armado de estructura y conexiones.
- Soldadura MIG
- Pruebas de Estanqueidad Hidrostática
- Pruebas Hidrostáticas
- Prueba Radiográfica de juntas soldadas.
- Pruebas al Motorreductor

- Pruebas en Vacío del tanque agitador.

## 2.2 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD

### 2.2.1 Selección de Materiales

Se establece el **material base** en función al requerimiento de trabajo, por ejemplo en nuestro caso, el tanque contendrá soluciones minerales, de carácter ácido, estará expuesto en la parte externa a posibles contactos con sustancias químicas. Soportará vibraciones y presión interna. Debido a esto concluimos que el material debe ser resistente a esfuerzos mecánicos y a la corrosión. Por esta razón el empleo de materiales de acero inoxidable nos facilita cubrir tales exigencias. Ahora el tipo de inoxidable a usar debe ser de bajo contenido de carbono, que no favorezca la precipitación de carburos, es decir que ofrezca buena soldabilidad. Los aceros inoxidables austeníticos cumplen con esto. Pero de ellos quien ofrece la mejor resistencia a la corrosión son los de la serie 3XX, para nuestro caso el 316L. Luego el **material de aporte** se establece una vez identificado el material base. Esta debe ser lo más parecido en cuanto a su composición química y cubrir las propiedades mecánicas, que favorezcan la soldabilidad. Para esto contamos con una tabla de metales de aporte recomendados más adelante.

Acotando que generalmente el área de ingeniería se encarga de la selección del material de fabricación, como parte del diseño.

### **2.2.2 Recepción de Materiales y Suministros**

En esta parte se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas de los materiales, suministros y equipos eléctricos para la fabricación, esto se hace a través de formatos de control:

*Tabla 2.1- Formato de Recepción de Materiales*

<b>Ítem</b>	<b>Especificación Técnica de Materiales/Equipos eléctricos y suministros</b>	<b>Certificados de Calidad</b>	<b>Fecha de ingreso</b>	<b>Proveedor</b>

### **2.2.3 Habilitado de materiales**

Se realiza un control dimensional de las partes en el proceso. Así como el registro de las medidas tomadas. De acuerdo a plano, dentro de las tolerancias establecidas. Así como la preparación de las uniones soldadas.

### **2.2.4 Armado de estructura y conexiones**

Se realiza un control dimensional de las medidas principales sobre todo entre agujeros. De acuerdo a plano, dentro de las tolerancias, antes de pasar al soldeo. También se toma registro de las medidas.

### **2.2.5 Soldadura MIG**

Se realiza un control e inspección visual de las juntas soldadas en base a los planos de fabricación y los procedimientos establecidos, por el Cliente o por la empresa contratista. Así también las pruebas de ensayos no

destructivos requeridos por el cliente o por la empresa contratista. En caso de no contar con procedimientos, se tendrá que desarrollar, luego calificar.

#### **2.2.6 Pruebas de Estanqueidad Hidrostática**

Se realiza esta prueba para verificar que no tenga filtración en las juntas soldadas del cuerpo del tanque. Esto se hace llenando el tanque hasta un nivel de agua dejándolo reposar y luego inspeccionar que no presente fugas.

#### **2.2.7 Pruebas Hidrostáticas**

Las partes que van soldadas de las conexiones por tuberías se someten a una prueba de presión hidrostáticas para verificar que no tengan fugas. En un lapso de tiempo corto.

#### **2.2.8 Prueba Radiográfica de juntas soldadas**

Por ser una construcción por soldadura de un tanque, esta requiere que se radiografien las juntas soldadas del cuerpo del tanque, según Norma API650, solicita una cantidad de placas entre las juntas verticales, horizontales y las intersecciones.

#### **2.2.9 Pruebas al Motorreductor**

Se hace la prueba de funcionamiento al motorreductor en vacío y se verifica las RPM y así como los valores de corriente, según valores de placa. Luego se hace una prueba con carga en la cual se verifica su capacidad y estabilidad. Para simular la operación.

### **2.2.10 Pruebas en Vacío del tanque agitador**

Esta prueba se hace casi en la última etapa del proceso y es para probar la funcionabilidad del sistema armado, en este caso del mecanismo de agitación. El Objetivo de la prueba más que nada es cerciorarse que después de un periodo de tiempo, las instalaciones eléctricas en el motorreductor no sufran calentamientos anormales, a causa del movimiento del eje agitador. Por esta razón verificar el acoplamiento entre el motorreductor y el eje agitador, estén alineados y correctamente sujetos. Durante las pruebas en vacío, se registran consumo de energía, calentamiento y vibraciones por parte del motorreductor.

La prueba con carga del tanque agitador no se realizó por motivo que la funcionabilidad del sistema de agitación en vacío fue suficiente para balancear cargas. Teniendo en cuenta que la presión de la solución mineral se compensa alrededor del eje agitador.



Figura 2.1 – Organigrama del proceso de Gestión de Calidad



## **CAPITULO III**

### **APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE FABRICACIÓN**

Para las fabricaciones metálicas, por soldadura, contamos con normas y estándares que debemos de seguir para garantizar seguridad y calidad de la fabricación. Por ello vamos a considerar lo siguiente:

#### **3.1 NORMAS Y CODIGOS**

Para la construcción de tanques de almacenamiento por soldadura se va emplear la Norma API 650, que cubre el material, diseño, fabricación, montaje y pruebas para regular la construcción de tanques de varios tamaños y capacidades, no refrigerados, de forma cilíndrica vertical, soldados, para operar a presiones internas que no excedan las 2.5 psi manométrica.

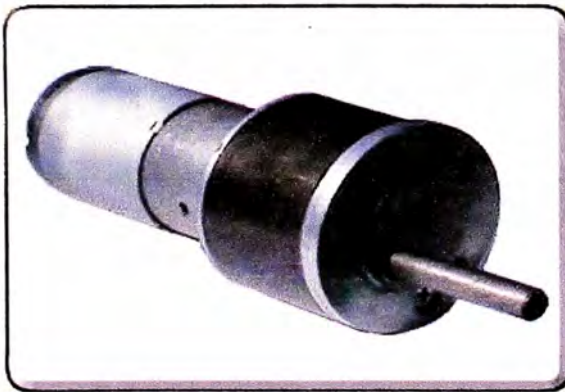
También la norma ASME sección V, Examinación de Ensayos no destructivos. Esta cubre los procedimientos, e interpretación de los ensayos, basado en los criterios de aceptación y los requerimientos de agudeza visual con los que debe contar el inspector. Así también las limitaciones para su aplicación, Evaluando de esta manera los costos y recursos con los que se cuenta para su realización. Por último la sección IX, el cual cubre los procedimientos de soldadura a emplear y las respectivas

calificaciones de los cupones. Entre ellos el rango de espesores, la posición y el tipo de junta.

### 3.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En esta parte se pone a prueba la funcionabilidad del equipo, "agitador". Sobre todo de las partes eléctricas, verificando que trasmitan la fuerza necesaria para el mecanismo agitador. Por ello se realiza una prueba en vacío del equipo. Sin embargo antes se prueban los equipos eléctricos por separado verificando, que cumplan con los valores de corriente y Las revoluciones por minuto (RPM). Por ejemplo:

Figura 3.1: MOTORREDUCTOR TORQUE 40Kg A 20 RPM



Motorreductor de 40 Kg. a 20 rpm, 24 Vdc, altísimo torque  
Engranés de metal. Eje de rotor largo forma en "D" 0.55 Amp en rotación normal (sin carga).

Tabla 3.1 CARACTERISTICAS TECNICAS:

<b>Material:</b> Metal	<b>Torque:</b> 40 kgf*cm	<b>Voltaje:</b> 12V a 24V DC constantes entre terminales
<b>Eje:</b> Acero	<b>Velocidad sin Carga:</b> 20± 10% rpm	<b>Relación de Reducción:</b>
<b>Dirección de Rotación:</b> bidireccional	<b>Temperatura de Operación:</b> -10°C ~ +60°C	<b>Corriente con Carga:</b> 7.5 A
<b>Caja de Engranés:</b> Metálica	<b>Humedad Soportada:</b> 20% ~ 70%	<b>Corriente sin Carga:</b> 0.55 A Max.

### **3.2.1 Recomendaciones para la Instalación mecánica**

- Antes de la instalación, retire la protección contra la oxidación del eje de salida y engrase ligeramente las superficies contiguas.
- Instale los motorreductores libres de vibraciones, firmemente y sin deformarlos, asegúrese de alinearlos correctamente en caso de acoplamiento directo.
- Observe la forma estructural y la disposición de los accesos al aceite según la placa de características y la apropiada ventilación del reductor.
- Evite impactos y choques durante el montaje de elementos de transmisión.
- Mantenga libres las rendijas de ventilación, asegúrese de observar las distancias mínimas para el aire de refrigeración según las instrucciones del fabricante. Tenga especial cuidado para las versiones con motores en disposición vertical para evitar la caída de materia extraña.
- Los componentes que deban ser montados en el eje del motor deberán estar dinámicamente balanceados.

### **3.2.2 Recomendaciones para la Conexión eléctrica**

- Toda conexión tiene que ser realizada en estado sin tensión (despejado y asegurado contra re-conexión) por personal calificado observando las disposiciones aplicables. La tensión y frecuencia debe ser conforme con los datos de placa de características.

- La caja de conexiones no debe contener ninguna materia extraña, suciedad o humedad. La entrada de cables no usados y la misma caja debe cerrarse a prueba de polvo y agua.

### **3.2.3 Recomendaciones para la Puesta en marcha**

- Antes de la puesta en marcha, revise el freno del motor para un funcionamiento apropiado del freno.
- Haga girar el accionamiento, sin carga, durante corto tiempo y compruebe posibles irregularidades.
- En el proceso de marcha del motor sin elementos acoplados asegure la chaveta.
- Revise el consumo de corriente con carga, es decir con los elementos acoplados en operación, en caso de cambios (Vibraciones, ruidos, incremento de la temperatura) busque la causa, contacte con el fabricante si es necesario.

## **CAPITULO IV**

### **PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN**

Para que estos proyectos se lleven a cabo con éxito, es primordial contar con un plan de inspección y ensayos para un normal desarrollo durante los distintos avances tanto sean en procesos de fabricación como de montaje o intervenciones con modificaciones y reparaciones mayores. Así tenemos lo siguiente:

#### **4.1 PROTOCOLOS DE INSPECCIÓN**

Para la construcción, del tanque se va considerar los protocolos de inspección, lo cual nos permitirá saber que vamos a medir e inspeccionar durante el proceso de fabricación:

Por ejemplo para revisión de planchas nosotros verificamos dimensiones como: longitudes, diagonales, espesores. Luego viene la parte visual, estado del material, si no presenta defectos como mal laminado, picaduras o bordes ondulados. Ver fig. 4.1.

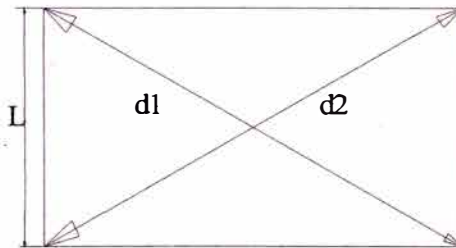
Figura 4.1: Verificación de Estado de Materiales y defectos



Plancha con ondulación

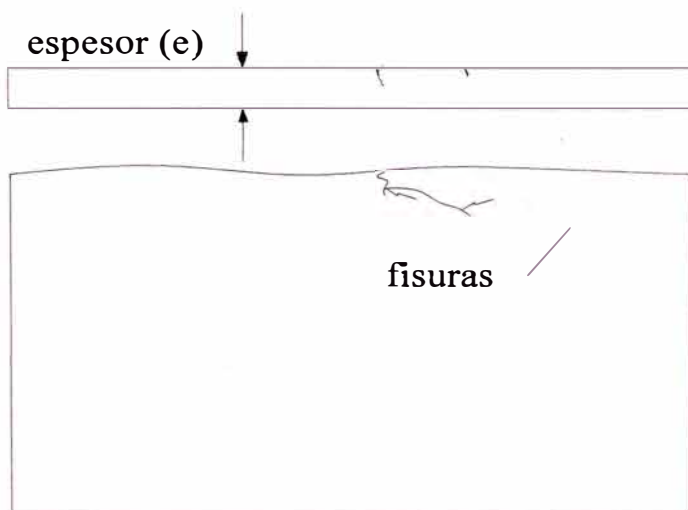


L: longitud, d: diagonal



Revisión de longitudes: ancho, largo, diagonales, etc.

Otros defectos: Picadura, fisura en plancha







<i>Tabla 4.2 Protocolo de Control Dimensional</i>	
LOGO DE LA EMPRESA	<b>PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD</b>
	<b>PROYECTO:</b>
<b>CONTROL DIMENSIONAL</b>	Código-registro

<b>1. DATOS Y/O DESIGNACION</b>							
Realizado por: _____		Plano: _____		Fecha: _____			
Área: _____		Sec _____		Zona: _____			
<b>2. PARTES CONTROLADAS</b>							
Identificación	Cota Teórica ( )	Cota Real ( )	Desviación ( )	Tolerancia ( )	Estado de Control		Observación
					Acep.	Rech.	
<b>3. ESQUEMA DEL ELEMENTO CONTROLADO DIMENSIONALMENTE (el esquema se puede anexar a este formato para mayor detalle)</b>							
Comentario:							
<b>4. APROBACION DEL CONTROL</b>							
_____				_____			
Ing. de Producción				Control de Calidad			

*Tabla 4.3 Protocolo de Inspección Visual de Soldadura*

LOGO DE LA EMPRESA	<b>PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD</b>	
	<b>PROYECTO:</b>	
<b>INSPECCION VISUAL DE SOLDADURA</b>		Código-registro

1. EQUIPO : \_\_\_\_\_ PLANO DE FABRIC.: \_\_\_\_\_ ESPECIF. TEC. CONTRAC: \_\_\_\_\_  
 CODIGO EQUIPO: \_\_\_\_\_ CODIGO/NORMA: \_\_\_\_\_ EDICION : \_\_\_\_\_  
 COLUMNA:  TIGERAL:  VIGAS:  OTROS:

**2. UBICACIÓN Y/O DISTRIBUCION DE UNIONES SOLDADAS**

Nota: La juntas soldadas deberán mostrar claramente la identificación y el N° de estampa del soldador

IDENTIFICACION DE JUNTA	TIPO DE JUNTA	TIPO/DEFECTO	ACEPTADO SI/NO	REPARAR SI/NO	SOLDADO POR	RESULTADO

\_\_\_\_\_  
Ingeniero de Producción

\_\_\_\_\_  
Control de Calidad



Tabla 4.5 Protocolo de Pintura

<i>Tabla 4.5 Protocolo de Pintura</i>	
LOGO DE LA EMPRESA	<b>PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD</b>
	<b>PROYECTO:</b> _____
<b>REGISTRO DE PINTURA</b>	Código-registro

**1. DATOS Y/O DESIGNACION**

Partes y/o componente(s): \_\_\_\_\_

Sistema de Pintado: \_\_\_\_\_ Marca de Pintura: \_\_\_\_\_

Imprimación: \_\_\_\_\_ Espesor seco: \_\_\_\_\_

Capa Intermedia: \_\_\_\_\_

Acabado: \_\_\_\_\_ Espesor Seco Total del Sistema: \_\_\_\_\_

Espesor eficaz total sobre crestas: \_\_\_\_\_

Espesor mínimo - Puntos desfavorables: \_\_\_\_\_

**2. PARTES CONTROLADAS**

N°	DESCRIPCION	IDENTIFIC.	CONTROL PREP. SUPERFICIAL	CONTROL DE ESPESORES SECOS (mils)						
				1	2	3	4	5	PROM.	

**3. CONTROL DE SUPERFICIE**Uniforme si  no  Piel de naranja si  no  Piel de cocodrilo si  no **4. APROBACION FINAL DE LA PINTURA**\_\_\_\_\_  
Ing. de Producción\_\_\_\_\_  
Responsable de Pintura

*Tabla 4.6 Protocolo de Certificación de Fabricación*

<b>LOGO DE LA EMPRESA</b>		<b>PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD</b>	
		<b>PROYECTO:</b>	
<b>CERTIFICADO DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METALICAS</b>			Código-registro

**1. DATOS GENERALES**

Estructuras fabricadas en: \_\_\_\_\_ Planos de Fabricación: \_\_\_\_\_

Características particulares: \_\_\_\_\_

**2. PRESENTACION DE LOS ELEMENTOS**

	Si	No	N° del Registro de Control
- Certificado de materiales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fecha de control: _____ ; _____
- Control dimensional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fecha de control: _____ ; _____
- Ensayos no destructivos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fecha de control: _____ ; _____
- Arenado y pintura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fecha de control: _____ ; _____
- Codificación de elementos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fecha de control: _____ ; _____

Observaciones y/o comentarios :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**3. LISTADO DE ELEMENTOS CERTIFICADOS**

Ítem	Descripción	Cantidad	Código del elemento

\_\_\_\_\_  
Ing. Fabricación

\_\_\_\_\_  
Control de Calidad

## 4.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Los criterios de aceptación están basados en las normas API650 y ASME sección IX, para el caso de las juntas soldadas. Sobre todo para la inspección visual de los cordones de soldadura.

Así tenemos que para inspeccionar las uniones soldadas de un tanque contamos con los siguientes métodos:

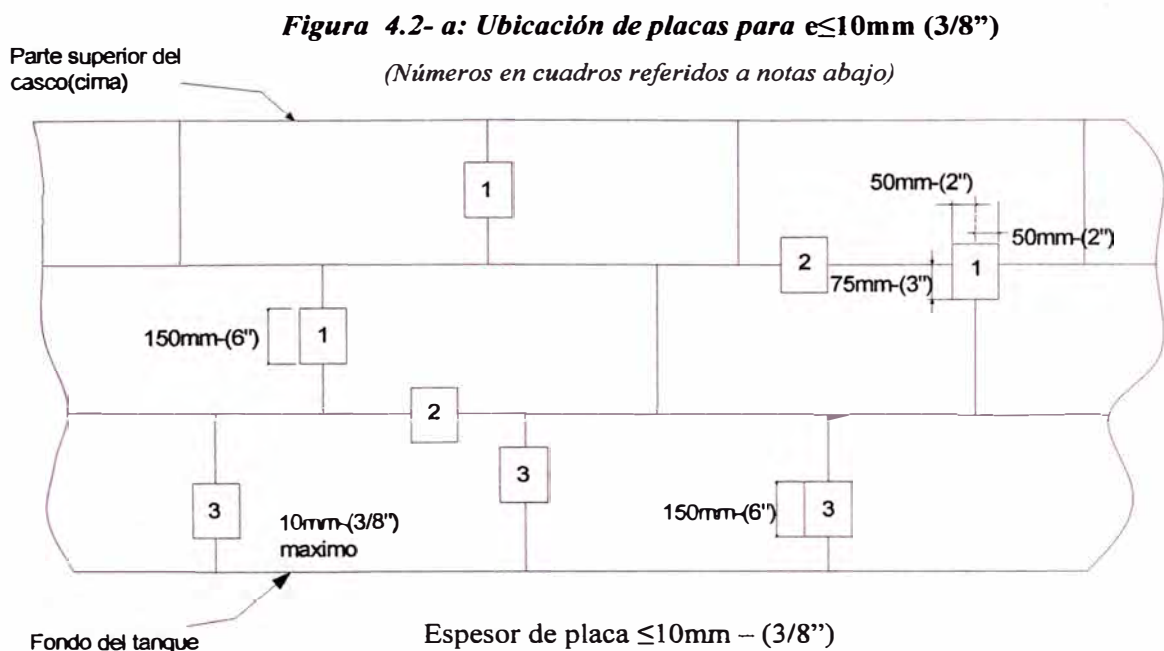
- **Método por placa Radiográfica.-** La inspección radiográfica es requerida para cascos soldados a tope, planchas anulares soldadas a tope, y conexiones tipo a ras.

- **Número y Localización de Radiografías**

Las radiografías serán tomadas como se especifica a continuación (ver fig.4.2):

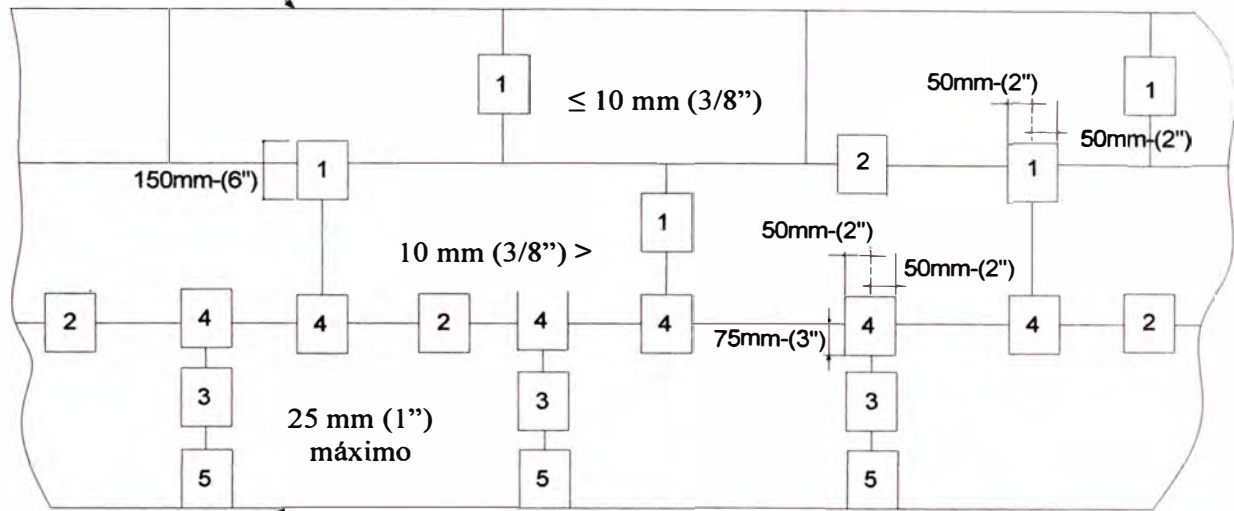
- a) Para uniones soldadas a tope en la cual la plancha más delgada del casco  $e \leq 10\text{mm}$  ( $3/8''$ ) de espesor, una muestra radiográfica deberá ser tomada en los primeros 3 m, de la unión vertical completa, de cada tipo de espesor de soldadura por cada soldador. Después se tomaran muestras radiográficas adicionales, una cada 30 m. Por lo menos el 25% deberán corresponder a la intersección de las uniones horizontales y verticales con un mínimo de 2 de tales intersecciones por tanque. Ver figura 4.2-a.
- b) Para uniones a tope en el cual la plancha más delgada del casco es  $10 < e \leq 25$  mm, muestras radiográficas serán tomadas de acuerdo al artículo

- a). En adición, todas las juntas de las uniones verticales y horizontales en las planchas en este rango de espesores, serán radiografiadas, cada película de radiografía mostrara un mínimo de 75 mm de soldadura vertical y 50 mm de longitud de soldadura a cada lado de la intersección vertical. Una de las radiografías será concluida al fondo tal como es practicable y la otra será tomada en forma aleatoria. Ver figura 4.2-b.
- c) Las uniones verticales en las cuales las planchas del casco son mayores que 1" de espesor serán totalmente radiografiadas. Todas las juntas de las uniones horizontales y verticales en este rango de espesores serán radiografiadas, cada película mostrara un mínimo de 75 mm de soldadura vertical y 50 mm de longitud de soldadura en cada lado de la intersección vertical. Ver figura 4.2-c.
- d) La soldadura a tope alrededor de la periferia de un pozo de acceso (manhole) o una boquilla insertada será completamente radiografiada.



Parte superior del casco(cima)

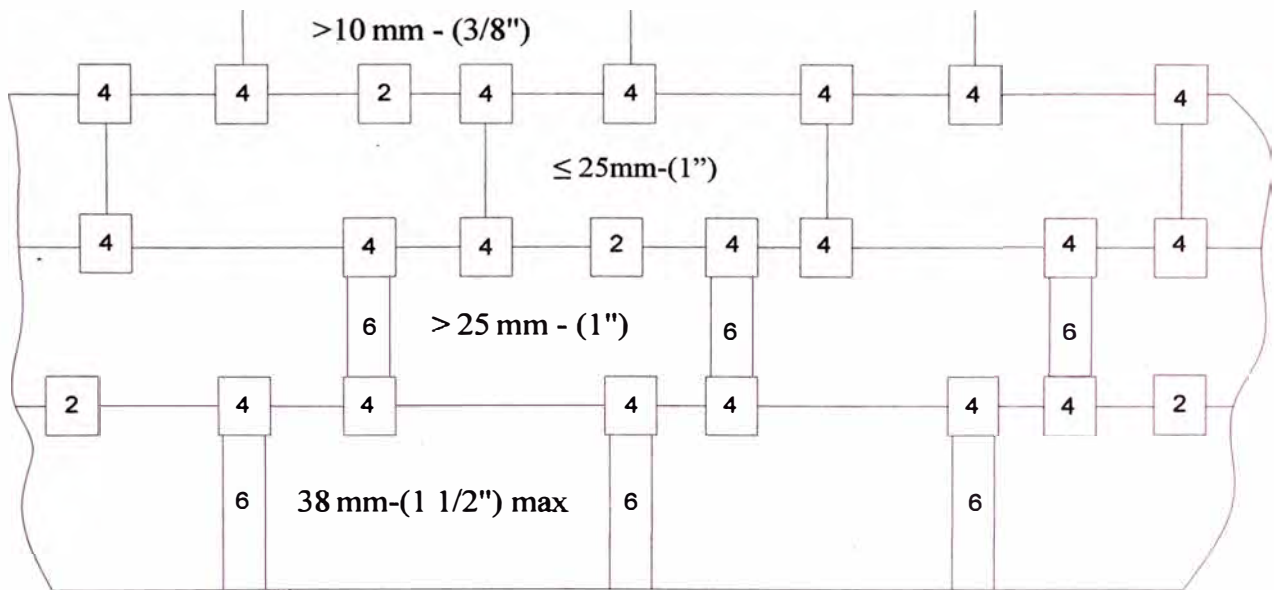
**Figura 4.2- b: Ubicación de placas para  $10 < e \leq 25$  mm**



Fondo del tanque

$10\text{mm}-(3/8'') \leq \text{Espesor de placa} \leq 25\text{mm}-(1'')$

**Figura 4.2 – c: Ubicación de placas para  $e \geq 25\text{mm} (1'')$**



Fondo del tanque

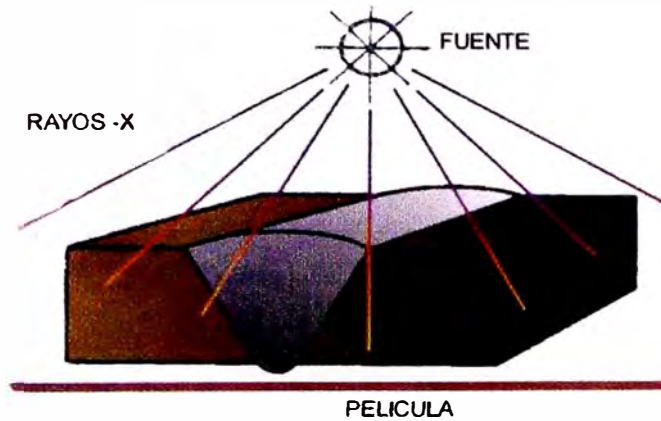
$\text{Espesor de placa} \geq 25\text{mm}-(1'')$

Notas:

- 1.- Muestra radiográfica vertical, a) una en los primeros 3m y una cada 30 m. 25% de las cuales será en intersecciones.
- 2.- Muestra radiográfica horizontal, una en los primeros 3 m y una cada 60 m.
- 3.- Muestra radiográfica vertical en cada costura vertical en el cordón más bajo, b) muestras radiográficas que satisfacen los requerimientos de la nota 1 para el cordón más bajo puede ser usado para satisfacer este requerimiento.
- 4.- Muestras radiográficas de todas las intersecciones por encima de 10mm (3/8 pulg.).
- 5.- Muestras radiográficas del fondo de cada costura vertical en el cordón del casco más bajo por encima de 10mm.
- 6.- Radiografía completa de cada costura vertical por encima de 25mm (1pulg), la completa radiografía puede incluir la muestra radiográfica de las intersecciones si la película tiene un mínimo grosor de 100 mm (4 pulg.).

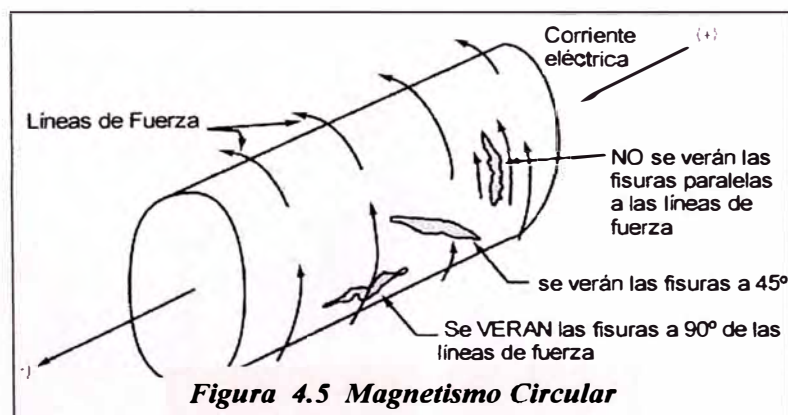
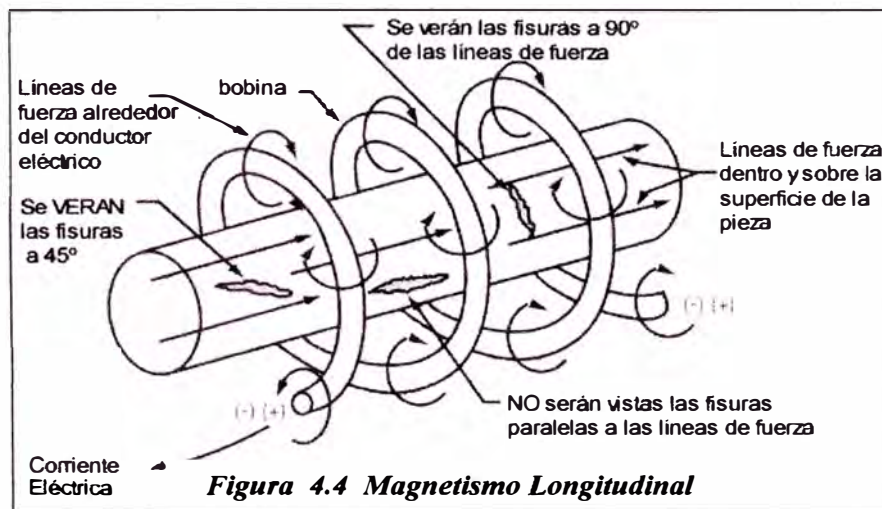


**Figura 4.3 Orientación de la fuente de radiación, plancha de ensayo y película radiográfica**



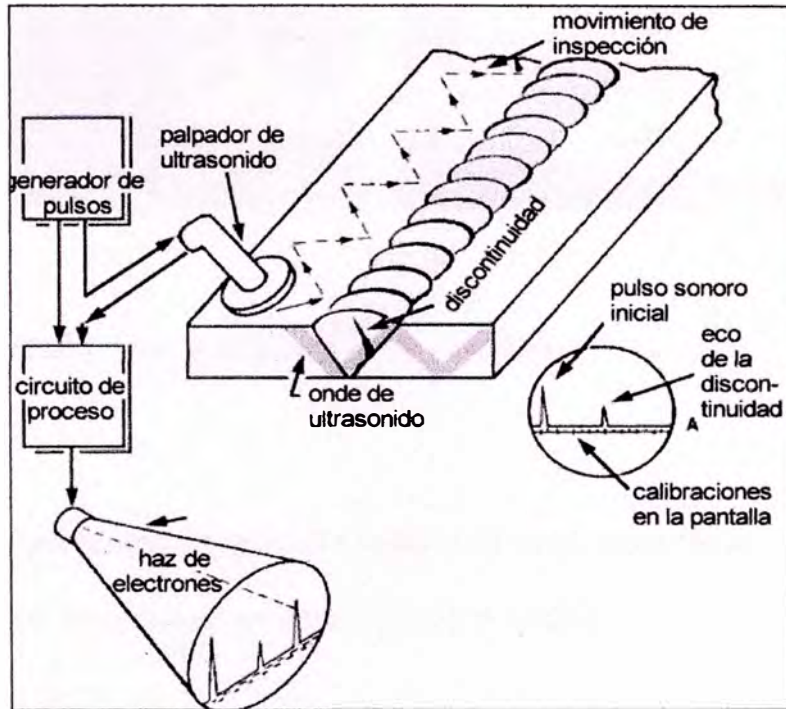
**Método por Partícula Magnética.-** Cuando la examinación por partícula magnética ha sido especificada, el método de examinación estará basado de acuerdo con la sección V, artículo 7, del código ASME.

*Modos como se presentan las discontinuidades y el sentido para la imantación, ver:*



**Método Ultrasonico.-** Cuando la examinación ultrasónica es especificada, el método de examinación estará de acuerdo con la sección V, artículo 5, del código ASME.

*Figura 4.6 Reflexión del sonido desde una discontinuidad*



**Método por líquido penetrante.-** Cuando la examinación por líquido penetrante es especificada, el método de examinación estará de acuerdo con la sección V, artículo 6, del código ASME.

*Figura 4.7-a*

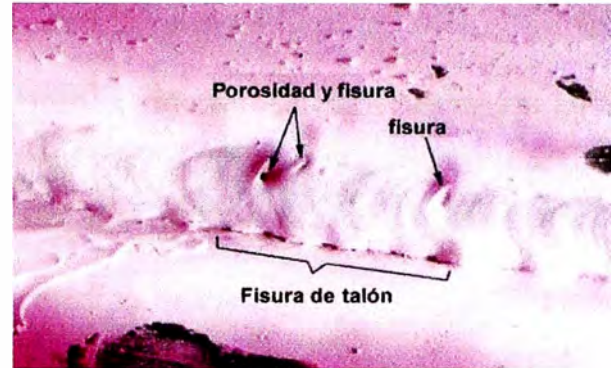
*Líquidos P.: limpiador, penetrante, revelador*



*Figura 4.7-b*

*Limpieza de la zona a ensayar*



**Figura 4.7-c***Aplicación del líquido penetrante***Figura 4.7-d***Aplicación del líquido revelador*

**Método Visual.-** Una soldadura será aceptable si la inspección muestra lo siguiente:

- a) No hay presencia de grietas o craters, u otras superficies agrietadas o con formación de arcos adyacente a la unión soldada.
- b) Las socavaciones no excederán los límites siguientes:
  - Para las uniones verticales a tope, el máximo descalzé aceptable es 0.4 mm (1/64 pulg.).
  - Para uniones horizontales a tope, el descalzé no excederá 0.8 mm (1/32 pulg.) de profundidad es aceptable.
  - Para soldaduras que unen boquillas, pozos de acceso (manhole), aperturas de limpieza, y uniones permanentes, las socavaciones no excederán 0.4 mm (1/64 pulg.).

- c) La frecuencia de superficies porosas en la soldadura no excederá uno o más poros en cualquiera de 4pulg. de longitud, y el diámetro de cada grupo (de uno o más poros) no excederá 2.5mm (3/32 pulg.).

Una soldadura que falla a reunir los criterios anteriores, será retrabajada antes de la prueba hidrostática, tal como sigue:

- Cualquier defecto será retirado por medios mecánicos o procesos térmicos. Los arcos formados en uniones adyacentes a la soldada serán reparados por esmerilaje y volver a soldar tal como es requerido. Los arcos formados reparados por soldeo deberán estar al nivel con la plancha.
- Volver a soldar es requerido si el espesor resultante es menor que el mínimo requerido por el diseño o por las condiciones de prueba hidrostáticas.
- La soldadura reparada será visualmente examinada para defectos



*Figura 4.8 Herramientas de inspección visual*

## **CAPITULO V**

### **MATERIAL DE FABRICACIÓN**

#### **5.1 ACEROS INOXIDABLES**

##### **5.1.1 Tipos de aceros inoxidables:**

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro, carbono, cromo y otros elementos, principalmente: níquel, molibdeno, titanio, niobio, silicio, manganeso, etc. Naturalmente, la influencia de los diversos elementos produce diversas variaciones en las características y propiedades de los aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables se clasifican según su microestructura, esta microestructura depende de la composición química del acero y del tratamiento térmico. La siguiente tabla presenta los grandes grupos en que se divide los aceros inoxidables.

*Tabla 5.1 Resumen de Composición y Propiedades de los Diferentes Tipos de Aceros Inoxidables*

Acero	% C	% Cr	%Ni	Magne- tismo	Estructura	Propiedades
Austenítico	0,030-0,2	17 a 27	6,0 -20	No	Austenítica	Ductiles, tenaces, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Son los más utilizados y conocidos
Ferrítico	0,1 a 0,3	15 a 30	-	Si	Ferrítica	Baja resistencia mecánica. Presentan fragilidad en la zona afectada térmicamente. Buena resistencia a la corrosión, sobre todo los de alto contenido en cromo.
Austeno- Ferrítico	0,05-0,08	18 a 29	3,0 -8,0	Si	Dúplex (Austeno- ferrítica)	Excelente resistencia a la corrosión. Buenas propiedades mecánicas y buena soldabilidad.
Martensítico	0,1 a 1,2	13 a 18	-	Si	Martensítica	Resistentes y duros. Peor resistencia a la corrosión. Mala soldabilidad y tenacidad.

### **5.1.2 Designación de los aceros inoxidables**

Los sistemas de designación permiten clasificar e identificar cada tipo de acero mediante ciertas propiedades (químicas, mecánicas, físicas).

La simbolización más extendida de los aceros inoxidables es la clasificación según el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI).

La designación AISI de los aceros inoxidables, en general, se compone de tres cifras (en algunas ocasiones puede ser 4cifras), seguidas de una o más letras, por ejemplo: 304L.

### **5.1.3 Aceros inoxidables austeníticos**

Los aceros inoxidables, son aleaciones de hierro, carbono, cromo y níquel.

El contenido de cromo está comprendido entre el 16 y el 25%, el de carbono entre el 0,02% y el 0,2% y el níquel entre el 6 y el 20%, en este tipo de acero es el níquel el que proporciona la estructura austenítica.

No son templables, presentan una buena ductilidad y son fácilmente soldables. Estas dos últimas cualidades es más notorio cuanto menor es el contenido en carbono.

Es el grupo más generalizado y el que reúne mejores condiciones de inoxidable y ductilidad. Son amagnéticos, es decir no son atraídos por los imanes, a diferencia de los aceros inoxidables de los otros grupos y de los aceros al carbono y de baja aleación.

La resistencia, resiliencia, alargamiento y en general todas las propiedades mecánicas dependen del estado del material, es decir del tratamiento mecánico o térmico realizado, pero se pueden dar los siguientes valores como típicos e un acero inoxidable austenítico: carga de rotura de  $65\text{kg/mm}^2$ , alargamiento del 40%, la resiliencia y el alargamiento son elevados.

Los aceros de calidad "L" se caracterizan por su bajo contenido en carbono, este tipo de acero tiene mayor resistencia a la corrosión.

Otra variante de la familia austenítica son los aceros inoxidables estabilizados. Este tipo de aceros poseen contenidos bajos de niobio o de titanio, del orden de 0,8%. Con estas adiciones se evita o disminuye la corrosión intergranular. A este tipo de acero pertenecen los tipos AISI 321 y AISI 347.

#### **5.1.4 ¿Porqué son inoxidables?**

Para que un acero sea inoxidable debe tener un contenido en cromo mínimo del 12%. La formación en la superficie del metal de una capa de óxido de cromo es lo que hace que el acero sea inoxidable, esta película o capa se denomina capa pasivante. Es una capa de óxido que no se desprende y protege al acero de la oxidación. Este sistema de protección es parecido al que se utiliza al pintar las superficies, o recubrirlas con cinc o níquel, la diferencia es que en los inoxidables esta capa pasivante la genera la propia aleación.

#### **¿Qué sucede cuando esta película se rompe?**

El solo contacto de la aleación con el ambiente hace crecer de nuevo la película pasivante y el material volverá a tener la misma resistencia a la corrosión que antes de romperse la película. Podríamos decir que tienen la propiedad de reparación automática.

Conocida ya la causa de la inoxidabilidad de estos aceros se puede comprender que cuanto mayor es el contenido de cromo mayor es la resistencia a la corrosión.

## **5.2 CORROSIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES**

Corrosión es la destrucción de un material por agentes químicos o físico-químicos. La destrucción comienza en la superficie (zona en contacto con el medio corrosivo) y se propaga hacia el interior del metal.



Al reaccionar el metal con el medio ambiente se crean capas de óxido, esta capa puede ser continua y protectora como la que vemos en la figura 5.1 y es la que tiene el acero inoxidable, o el aluminio, y que produce esa protección a este tipo de metales. La capa de óxido protectora puede romperse en contacto con ciertos productos y formarse picaduras como vemos en la figura 5.2. Las picaduras se inician, sobre todo, en puntos de discontinuidad de las capas de óxido, imperfecciones o daños sufridos en la película y en las zonas donde se acumula suciedad. Son provocadas por determinados agentes como el agua de mar o cualquier disolución con alto contenido en cloro. Para evitar este tipo de corrosión se debe hacer una buena selección del material y darle un mantenimiento de limpieza en servicio. Los aceros Austeníticos con molibdeno (tipo AISI 316) manifiestan buena resistencia a la corrosión por picaduras.

Otro tipo de metales, como el acero al carbono de construcción, cuando se oxida genera una capa no protectora pues se desprende con facilidad, esta capa no se adhiere, figura 5.4, y se rompe con facilidad fig. 5.3. Si un metal como el inoxidable está sometido a tensiones pueden crearse grietas como las de la fig. 5.5 y producirse corrosión bajo tensión.

Se advierte que los tipos de corrosión más peligrosos son los localizados. En numerosos casos este deterioro puede producir la rápida inutilización de un determinado material en servicio, o producir la rotura catastrófica del mismo.

### CAPAS DE OXIDO

Fig 5.1 Capa de óxido continua



Fig 5.2. Capa de óxido con grietas o picaduras

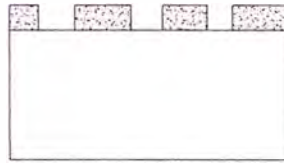


Fig 5.3. Capa de óxido rota

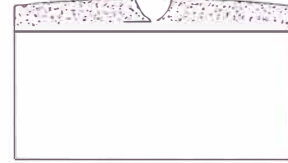


Fig 5.4. Capa de óxido con ampolla (baja adherencia)

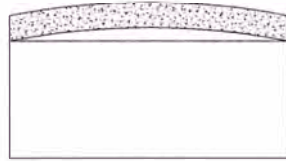
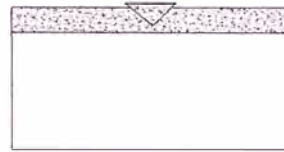


Fig 5.5. Capa de óxido con grietas



### 5.3 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

La soldabilidad de los aceros inoxidable auténticos en general es buena. Por que funde en forma estable y controlada, fluye fácilmente, cohesiona con las zonas frías y solidifica de forma regular, admite todos los procesos de soldadura. Ahora bien, para realizar correctamente el soldeo debe tenerse en cuenta la influencia de lo siguiente:

- Propiedades físicas.
- Contenido en ferrita en el metal de soldadura.
- Precalentamiento y tratamiento térmico del conjunto soldado.
- Elección del material de aporte y del proceso de soldeo.

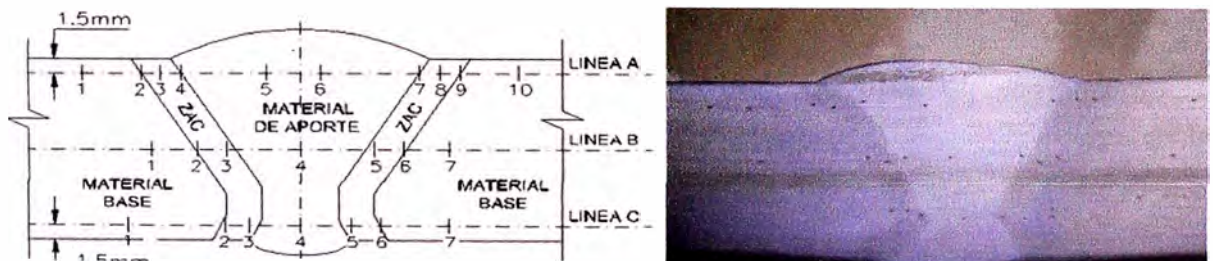
#### a) Propiedades físicas

Cuando se sueldan aceros austeníticos es muy importante tener en cuenta sus particulares propiedades físicas. Los aceros inoxidable austeníticos tienen un coeficiente de dilatación aproximadamente un 50% más elevado que los

aceros al carbono, mientras que la conductividad térmica es aproximadamente un 40% inferior. La contracción de las uniones soldadas será, pues, considerablemente mayor y el soldeo deberá realizarse prestando una atención especial al riesgo de posibles deformaciones del conjunto soldado.

Para amortiguar las tensiones producidas por esas dilataciones es preciso tomar precauciones, como son reducir la aportación de calor, distribuir el calor de forma simétrica, disminuir la cantidad del metal aportado y no embridar en exceso las piezas.

Por otra parte, debido a la baja conductividad térmica de estos aceros, la ZAT será más estrecha que la resultante en el soldeo de otros tipos de aceros.



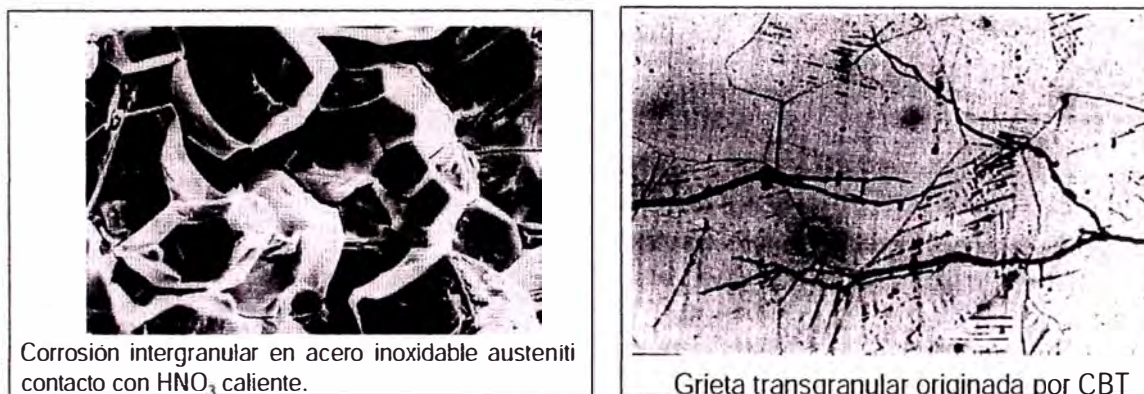
*Fig. 5.6 Zona Afectada Térmicamente*

**b) Precalentamiento y Tratamiento térmico de los conjuntos soldados.**

Se puede afirmar que ninguna operación de soldeo de los aceros inoxidables austeníticos exige un precalentamiento del material, ni el mantenimiento de la temperatura entre pasadas.

Tras el soldeo, en la mayoría de los casos, tampoco es necesario realizar ningún tratamiento térmico del conjunto soldado. Se efectúa únicamente

cuando es exigible un distensionamiento del material, ya sea por razones mecánicas al tratarse, por ejemplo, de espesores muy gruesos ya sea por razones químicas al tener que trabajar el material en presencia de un medio en el que exista riesgo de corrosión bajo tensiones.



**Fig. 5.7 Corrosión bajo tensión en aceros inoxidables**

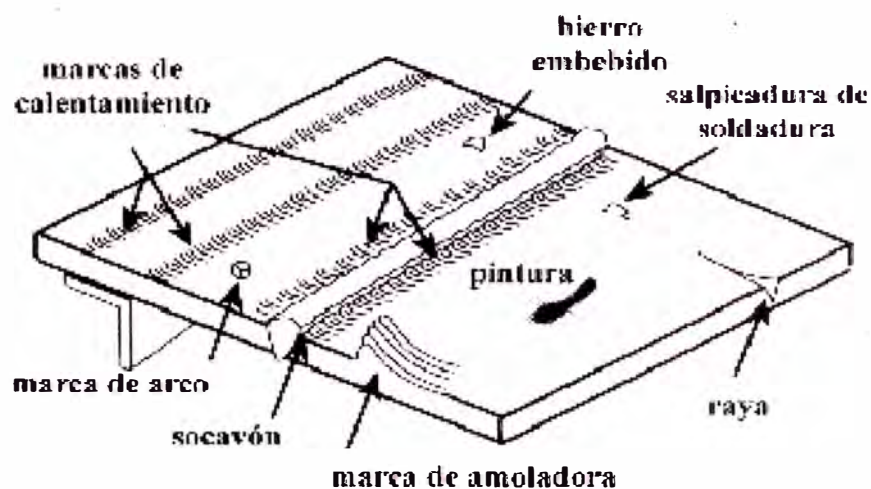
El tratamiento térmico ideal de distensionado de los aceros inoxidables austeníticos es el de disolución de carburos a 1000-1100°C, seguido de enfriamiento rápido en agua. Ahora bien, en la mayoría de los casos este tratamiento es imposible de realizar por razones prácticas.

En los casos en que no sea posible y se requiera un distensionado, éste se efectúa a 200-400 °C, eligiendo siempre una temperatura y una duración de adecuadas para que no se originen efectos secundarios nocivos, como precipitación de carburos.

## 5.4 LIMPIEZA Y MANIPULACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

### 5.4.1 Manipulación y descontaminación

Como se ha explicado, la inoxidable del acero inoxidable se debe a una capa de óxido de cromo que pasiva el acero impidiendo su oxidación. Mientras la película de óxido protector permanezca intacta, la inoxidable de los aceros inoxidables será buena; sin embargo, si se daña esta película puede provocarse una pérdida de inoxidable o una corrosión por picaduras. Una de las causas que puede provocar la corrosión posterior es su incorrecta manipulación. Se debe evitar la contaminación de la superficie así como dejar marcas sobre esta. Ver figura a continuación.



*Fig. 5.8 Defectos típicos de fabricación*

El acero inoxidable se contamina si se almacena junto al acero al carbono y si se manipula con útiles (muelas, limas, cizallas de corte. Mandriles de doblado, cepillo) de acero al carbono, o con los que se ha realizado operaciones en estos aceros y por tanto hayan quedado contaminados por ellos; por tanto se deben emplear útiles de acero inoxidable que se utilicen

exclusivamente para acero inoxidable, sin alternar su empleo con otros aceros.

En el caso de haberse producido la contaminación de la pieza de acero inoxidable se procederá a descontaminarlo, pero antes es necesario cerciorarse de si efectivamente la pieza está contaminada, para ello se puede introducir en agua que producirá, si se repite por lo menos durante 24 horas, manchas de orín superficiales; también se pueden utilizar reactivos adecuados.

La descontaminación consiste en sumergir o tratar la superficie de la pieza con las soluciones indicadas en la tabla 1, con pastas pasivantes para disolver los óxidos de hierro, o de otros metales, y reconstituir la capa pasivante del acero inoxidable; posteriormente se lava cuidadosamente la pieza.

**Tabla 5.2 Disoluciones para la descontaminación de aceros inoxidables**

<b>Composición de la disolución % en volumen</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Duración del Baño min</b>
Acido nítrico (20-40%)	50-70	20-30
	20-35	60
Acido nítrico (20-40%) + bicromato sódico(2-4% en peso)	40-55	20-30
	20-35	60

#### **5.4.2 Limpieza previa al soldeo**

Es necesario realizar una buena limpieza de las piezas antes de soldarlas para obtener uniones sanas. Se realizará la limpieza sobre las caras

biseladas de la unión y por lo menos unos 15 mm alrededor de cada uno de los biseles.

La limpieza consiste en la eliminación de cualquier resto de suciedad, grasa, fluido de corte, imprimaciones y aceite mediante los disolventes adecuados, que no contengan cloro, o mediante vapor de agua. También se puede limpiar con agua jabonosa y estropajo, que será de níquel o acero inoxidable y nunca de lana de acero.

En el caso de existencia de ligeros óxidos se retiraran mediante decapados mecánicos o químicos tales como:

- Empleo de cepillos de púas de acero inoxidable que no hayan sido utilizados para otros fines.
- Granallados con arena limpia.
- Mecanizado con herramientas adecuadas y fluido de corte exento de productos clorados.
- Decapado con ácido nítrico al 10 o 20 %, seguido de limpieza con agua.

### **5.4.3 Limpieza y decapado posterior al soldeo**

Tras el soldeo se debe realizar una limpieza adecuada para retirar cualquier escoria. Cualquier mancha o decoloración en la soldadura, o en las zona afectada térmicamente, debe ser retirada mediante cepillado o pulido mecánico, requiriendo a veces un decapado seguido de pasivado para restaurar la capa pasivante del acero inoxidable.

El decapado y pasivado se realiza por inmersión o rociado con alguna de las disoluciones ácidas indicadas en la tabla2, después la pieza se enfría rápidamente en agua y este choque térmico permite separar los últimos residuos de cascarilla de la superficie y eliminar los restos de ácido.

**TABLA 5.3: SOLUCIONES PARA EL DECAPADO DE ACEROS INOXIDABLES**

<b>Composición de la disolución % en volumen</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Duración del baño<sup>(1)</sup> min</b>
Acido nítrico (15-25%) + Acido Fluorhídrico (1-4%)	20-60	5 a 30
Acido nítrico (6-15%) + Acido Fluorhídrico (0,5-1,5%)	20-60	10
Inmersión en ácido sulfúrico (8-11%) Enjuague en agua.	65-85	5 a 30
Inmersión en solución 6-15% de ácido nítrico + 0,5-15% ácido fluorhídrico	20-60	10

*(1) Se debe adoptar el tiempo mínimo de inmersión en el baño para evitar un exceso de decapado. Se puede realizar ensayos para establecer los tiempos exactos de inmersión.*

## 5.5 METALES DE APORTACIÓN

En la tabla, se indican los metales de aportación recomendado para cada tipo de acero inoxidable. Se ha utilizado la designación AWS por ser la más utilizada.

Consiste en los números de designación del material base (según AISI), la letra E indica electrodo, R varilla y T electrodo tubular.



**Tabla 5.4: Metales de Aportación Para Acero Inoxidable**

Metal Base		Metal de Aportación				
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW		
Austenítico	302 304	E308-XX	ER 308	E308T-X		
	304 L 304 H	E308L-XX E347-XX	ER 308L ER 347	E308T-X E347T-X		
	309	E309-XX	ER 309	E309T-X		
	309 S	E309L-XX E309 Nb-XX	ER 309L ER 309 Nb	E309T-X E309NbLT-X		
	310 314	E310-XX	ER 310	E310T-X		
	316 316 L	E316-XX E316L-XX	ER 316 ER 316L	E316T-X E316LT-X		
	316 LN	E316L-XX E308LMo-XX	ER 316L ER 308LMo ER 316 LSi(MIG/MAG)	E316LT-X E308LMo-X		
	317 317 L	E317-XX E317L-XX	ER317 ER317L	E317T-X E317LT-X		
	321	E308L-XX E347-XX	ER321 ER347	E308LT-X E347T-X		
	347	E308L E347	ER347	E308LT-X E347T-X		
	348	E347	ER347	E347T-X		
	Ferrítico	430 446 ó similar	E430-XX E318-XX E310-XX E309-XX	ER 430 ER 218 ER 310 ER 309	E 430T-X E 318T-X E 310T-X E309T-X	
		Martensítico	410 420 ó similar	E410-XX E410NiMo-XX E310-XX E308-XX E309-XX	ER 410 ER 420 ER 310 ER 308 ER 309	E410T-X E410NiMoT-X E410NiMoTiT-X E310T-X E308T-X E309T-X

Las normas AWS y las normas europeas que recogen el material de aportación para el soldeo de aceros inoxidable se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 5.5: Especificación AWS para materiales de aporte de acero**

<b>Especificación AWS</b>	<b>Procesos de Soldero</b>	<b>Norma UNE-EN</b>
A5.22	FCAW	UNE-EN 12073
A5.9	MAG/MIG/TIG/SAW/PAW	UNE-EN 12072
A5.4	SMAW	UNE-EN 1600

## **5.6 PROCESO DE SOLDEO**

Los aceros inoxidable pueden ser soldados por casi todos los procesos, tales como láser, haz de electrones, resistencia, plasma, arco sumergido; los procesos más usuales son: TIG, MIG/MAG, SMAW, FCAW.

Se pueden conseguir soldaduras sanas mediante arco sumergido, sin embargo existen ciertas restricciones con este proceso ya que la composición del metal de soldadura depositado es más difícil de controlar.

No se recomienda el soldeo oxiacetilénico, excepto para pequeñas reparaciones cuando sea imposible el empleo de soldeo por arco, en estos casos se recomienda el soldeo con llama neutra o débilmente reductora y el empleo de fundentes adecuados (fluoruro sódico o cálcico).

### **5.6.1 Soldero por arco con electrodo revestido**

El soldeo con electrodo revestido es uno de los procesos más utilizados. Resulta un proceso adecuado para uniones de chapas o tubos de espesor mayor de 1mm y en principio, no existe límite superior en cuanto al

espesor, aunque para espesores muy grandes se prefieren los métodos automáticos como arco sumergido. También se puede utilizar en combinación con TIG utilizando el soldeo TIG para realizar la raíz de la soldadura y el electrodo revestido para el relleno; este método es muy utilizado en tubería.

### **Metal de Aportación**

Como metales de aportación se utilizarán electrodos revestidos con una composición química similar a la del metal base.

La designación utilizada por AWS A5.4 consiste en:

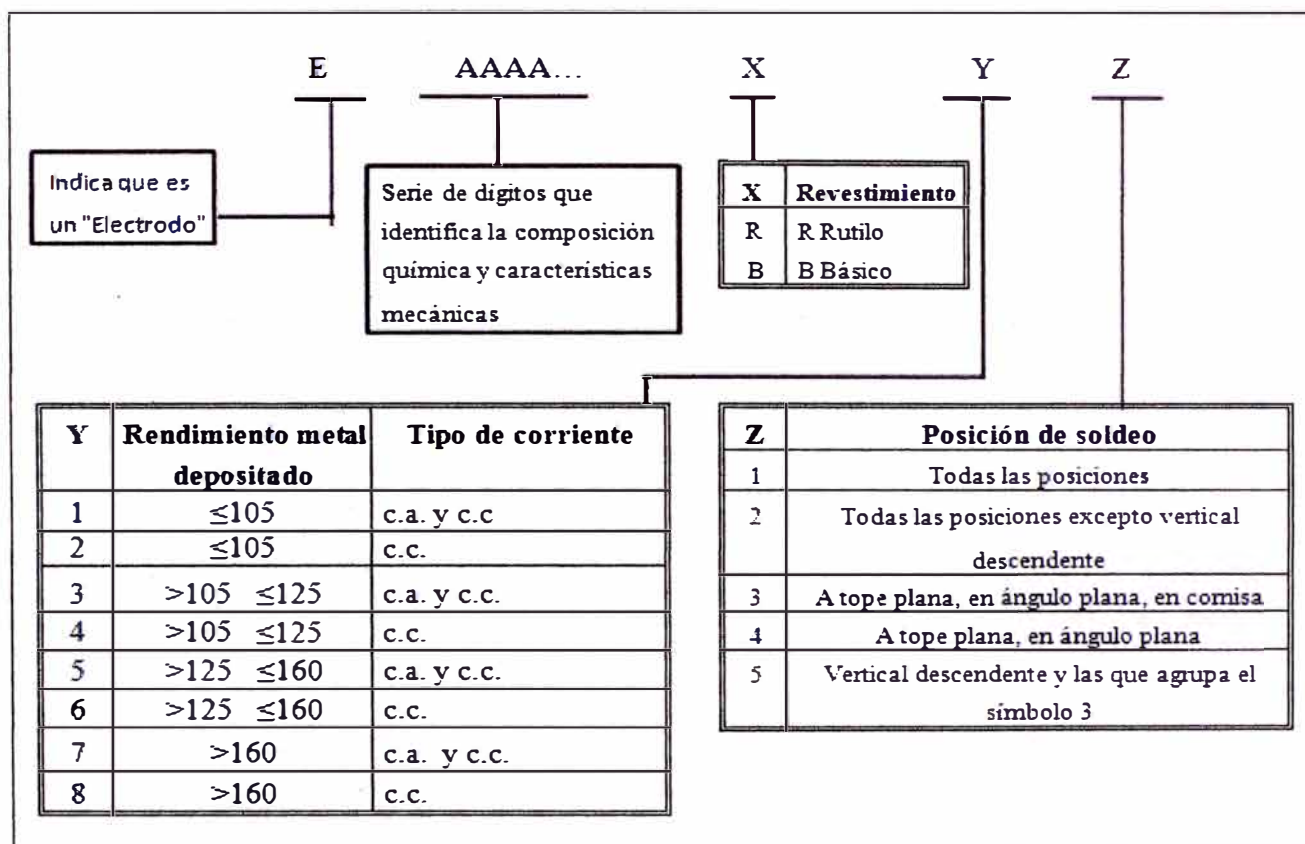
- La letra E que indica que es un electrodo.
- 3 o 4 números que representan la composición química del metal de soldadura, clasificados de la misma forma que el metal base según la AISI.
- 2 números que indican el tipo de revestimiento y por tanto la posición de soldeo y el tipo de intensidad de soldeo.

**Tabla 5.6: Tipo de Corriente de soldeo en función del electrodo**

<b>Denominación AWS</b>	<b>Corriente de Soldeo</b>	<b>Posición de Soldeo</b>
EXXX-15	CCEP	Todas <sup>1</sup>
EXXX-16	CCEP ó CA	Todas <sup>1</sup>
EXXX-17	CCEP ó CA	Todas <sup>1</sup>
EXXX-25	CEEP	Horizontal(cornisa) y plana
EXXX-26	CCEP ó CA	Horizontal(cornisa) y plana

(1) Los electrodos de diámetro mayor de 4,8 mm no se recomiendan para el soldeo en todas las posiciones

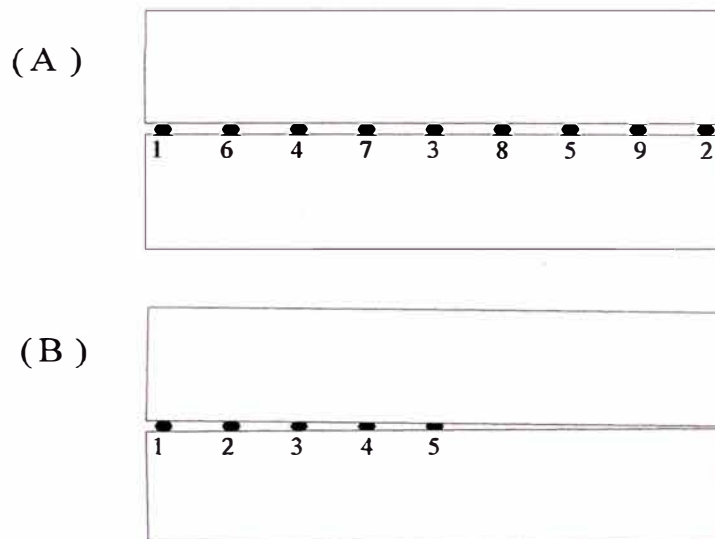
**TABLA 5.7: Designación de los electrodos revestidos para el soldeo manual por arco de los aceros inoxidable y resistentes al calor de acuerdo con une-en 1600:1998**



### Técnica de Soldeo

Las chapas deberán estar unidas inicialmente con puntos, de forma que la abertura entre las chapas permanezca uniforme a lo largo de toda su longitud; el punteado se hará con cordones cortos de 40mm. De longitud, siguiendo una secuencia que tenga un punto de partida en el medio de la chapa y que los puntos vayan aplicándose alternativamente hacia los extremos, o bien se dispondrá un punto en cada extremo y luego en el centro de cada espacio hasta el punteado se haya completado, (ver fig.5.8- A). La abertura tendrá una tendencia a cerrarse si la soldadura por puntos se efectúa solamente desde un lado, (ver fig.5.8-B).

**Fig.5.9 Método de Punteado. (A) Distribución Correcta de los Puntos.**  
**(B) Distribución Incorrecta, la Chapa se cierra**



**TABLA 5.8: DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE SOLDADURA**

<b>Espesor chapa (mm)</b>	1.0 - 1.5	2.0 -3.0	4.0 - 6.0	Mayor de 6
<b>Espaciado entre puntos de soldadura(mm)</b>	30 - 60	70 - 100	120 - 160	150 - 200

En el caso de chapas de pequeño espesor los puntos de soldadura deberán ser martillados. De esta forma se ensanchaba la soldadura y se reduce la concentración de tensiones. El martillado no será excesivo y no se extenderá por una superficie amplia del metal base.

La separación entre las chapas será de 2.5 a 3.2mm dependiendo del tipo de electrodo que se utilice. Se recomienda la técnica de cordones rectos mejor que la de oscilantes; la anchura del cordón no deberá ser mayor que cuatro

veces el diámetro del alma del electrodo, cada cordón de soldadura tendrá un espesor inferior a 3mm.

Cada uno de los cordones deben limpiarse, retirando la escoria mediante cepillado y/o amolado. Las inclusiones de escoria provocadas por realizar una limpieza incorrecta no solo representan una discontinuidad, sino que también favorecen la corrosión.

Cuando no se pueda soldar por las dos caras no se recomienda el empleo del electrodo revestido para la pasada de raíz, pudiendo utilizarse en su lugar el soldeo TIG, soldeo por plasma o soldeo MIG/MAG.

Para evitar las mordeduras, sobre todo en las posiciones vertical y bajo techo, se deberá evitar la oscilación excesiva del electrodo, intensidades muy altas y longitudes de arco muy grandes. Los electrodos deben conservarse en buen estado y secarse antes del soldeo para evitar la porosidad causada por la humedad.

### **5.6.2 Soldeo TIG**

Las aplicaciones más comunes del soldeo TIG son el soldeo de chapas finas, para el soldeo de las primeras pasadas cuando se realiza el soldeo por una sola cara y en el soldeo de tuberías. Además se prefiere utilizar las uniones biseladas antes que las uniones con bordes rectos.

El soldeo se realizará con corriente continua electrodo en el negativo, por tanto se suele utilizar electrodo de wolframio con óxido de torio.

En general se usara argón para el soldeo TIG, añadiendo ciertas cantidades de helio cuando las uniones se realizan entre piezas de mayor espesor, en el caso de los aceros inoxidable dúplex se pueden utilizar adiciones de nitrógeno que mejoran las características de la soldadura.

Se utiliza gas de respaldo, sobre todo en el soldeo de tuberías. En el caso del inoxidable austenítico se pueden utilizar como gas de respaldo argón o argón hidrógeno (5% de hidrogeno) y en el caso del inoxidable dúplex se utilizará argón o argón + nitrógeno. También pueden utilizar nitrógeno y nitrógeno+4% hidrógeno. Para conseguir una buena fusión de la raíz se pueden utilizar insertos consumibles o chaflanes ensanchados.

### **5.6.3 Soldeo MIG/MAG**

El soldeo MIG/MAG se suele utilizar para el soldeo de piezas de mayor espesor que las soldadas con TIG. Se suele utilizar como gas de protección argón y se puede utilizar otras mezclas, como argón-oxígeno, argón-CO<sub>2</sub>, argón-helio-dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La mezcla argón-oxígeno mejora el mojado y aspecto de la soldadura produciéndose gotas de menor tamaño, pero puede dar lugar a una cierta oxidación del baño. No se utilizaran mezclas argón-CO<sub>2</sub> cuando se suelden aceros inoxidables grado L (Bajo carbono) pues puede aumentar el contenido de carbono del metal de soldadura, produciéndose una disminución de la resistencia a la corrosión. Como gas de respaldo de suele utilizar argón o argón-5% hidrógeno.

El espesor máximo de las pasadas para soldeo MIG/MAG dependen del tipo de transferencia, en la tabla 5.9, se indican los recomendados para el soldeo con transferencia spray y en la tabla 5.10 con transferencia por cortocircuito.

**Tabla 5.9:** Variables típicas para el soldeo mig/mag de aceros inoxidable auténticos y dúplex, empleando arco con transferencia spray en posición plana

Espesor material (mm)	Tipo de Unión	Diámetro del alambre (mm)	Intensidad <sup>(1)</sup>		Velocidad del alambre (mm/s)	Gas de protección (%)	Caudal de gas (l/min)
			A	V			
3,2	A tope con respaldo	1,6	225	24	55	Ar 98%, O <sub>2</sub> 2 %	14
6,4 <sup>(2)</sup>	A tope. Bisel en V ángulo 60°	1,6	275	26	74	Ar 98%, O <sub>2</sub> 2 %	16
9,5 <sup>(2)</sup>	A tope. Bisel en V ángulo 60°	1,6	300	28	102	Ar 98%, O <sub>2</sub> 2 %	16

(1) Corriente continua electrodo positivo. (2) Se requieren dos pasadas.

**Tabla 5.10:** Variables típicas para el soldeo mig/mag de aceros inoxidable auténticos y dúplex, empleando transferencia de cortocircuito

Espesor material mm	Tipo de Unión	Diámetro del alambre mm	Intensidad de soldeo <sup>(*)</sup>		Velocidad del alambre mm/s	Gas de protección	Caudal de gas l/min
			A	V			
1,6	A tope	0,8	85	21	78	He 90%, Ar 7,5% CO <sub>2</sub> 2,5 %	14
2,4	A tope.	0,8	105	23	97	He 90%, Ar 7,5% CO <sub>2</sub> 2,5 %	14
3,2	A tope.	0,8	125	24	118	He 90%, Ar 7,5% CO <sub>2</sub> 2,5 %	14

(\*)Corriente continua



#### 5.6.4 Soldeo por arco con alambre tubular

Se puede utilizar gases de protección como argón, CO<sub>2</sub> o mezclas de ambos. La composición química de cada tipo de alambre permite obtener la cantidad de ferrita adecuada en cada caso. Se debe evitar realizar el soldeo con bajas intensidades y grandes longitudes de arco, pues pueden producir porosidad.

TABLA 5.11: Variables para el soldeo FCAW

<b>Diámetro del Alambre</b>	<b>Intensidad A</b>	<b>Tensión V</b>	<b>Caudal de gas l/min<sup>(1)</sup></b>
0,9	70-190	22-38	20-25
1,2	150-250	22-38	20-25
1,6	200-300	25-40	20-25

(1) 75% Argón + 25% CO<sub>2</sub>

#### 5.6.5 Soldeo por arco sumergido

El soldeo por arco sumergido se utiliza habitualmente para realizar uniones entre aceros inoxidables austeníticos y dúplex, o para realizar un plaqueado de un acero al carbono con acero inoxidable.

En el soldeo de los aceros dúplex se utilizarán intensidades y tensiones un poco más altas que con los aceros austeníticos. El fundente deberá ser básico, de alta basicidad o neutro y no deberán utilizar los fundentes aglomerados absorben humedad y deberán secarse antes de su utilización. Se debe limitar la dilución del metal base al 40%.

Se podrá realizar el soldeo con corriente continua o con corriente alterna.

Se recomiendan las siguientes medidas:

- Emplear una geometría correcta de la unión, la anchura de la soldadura (a) deberá ser mayor que su profundidad (p):  $a > p$
- Se debe elegir una combinación de fundente y alambre de forma que se asegure un contenido de ferrita no inferior al 5% en el caso de inoxidable austenítico.
- En el soldeo del inoxidable dúplex se reducirá la dilución para evitar que el metal de soldadura tenga un exceso de ferrita.
- Se evitarán las soldaduras con intensidades excesivas y se dejará enfriar la soldadura entre pasadas.
- Se utilizara placas de respaldo de cobre o cerámicas.

## **5.7 DISEÑO DE UNIÓN**

Como los aceros inoxidables se utilizan en ambientes corrosivos, se deben diseñar las uniones de forma que se eviten al máximo las discontinuidades que favorecerían la corrosión, se debe extremar el diseño de las uniones de tuberías evitando resquicios o zonas de estancamiento de fluidos corrosivos. Las uniones deben ser de penetración total se deben evitar las raíces pronunciadas y las uniones a solape.

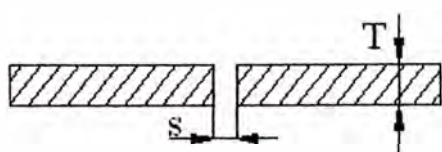
En todo caso, la geometría de la unión depende de la posición de soldeo y la accesibilidad de la unión, además del espesor y el proceso de soldeo.

En los casos de uniones en ángulo será necesario conseguir un ajuste bueno, a fin de evitar zonas que puedan ser origen de tensiones.

A veces es necesario utilizar en las uniones a tope separaciones en la raíz mayores de 2,5mm, para evitar de esta forma que se junte excesivamente la raíz durante el soldeo. A continuación se indican algunas de las preparaciones recomendadas en función del proceso de soldeo y del espesor de la pieza.

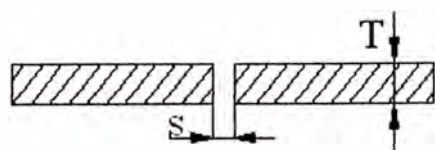
**Figura 5.10: Preparaciones Recomendadas Para el Soldeo de Aceros Inoxidables**

Borde recto. 1 pasada



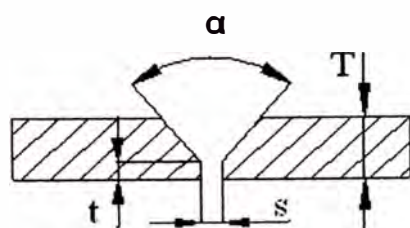
Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz S (mm)
SMAW	1,0 - 4,0	2
GTAW	1,0 - 4,0	2 - 2,5
GMAW	2,0 - 4,0	2 - 2,5

Borde recto. 2 pasada



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz S (mm)
SMAW	3,0 - 6,0	2
GTAW	3,0 - 6,0	1,0 - 2,0
GMAW	3,0 - 8,0	1,0 - 2,0
FCAW	2,0 - 4,0	2
SAW	4,0 - 9,0	0

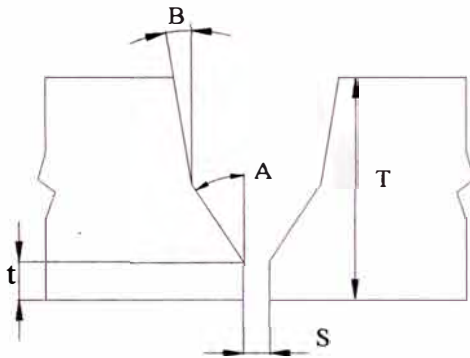
Bisel en V



Para el soldeo en cornisa la pieza inferior tendrá un bisel de  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  y la superior de  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}$

Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz S (mm)	Talón t (mm)	Angulo del bisel (α)
SMAW	3,0 - 13,0	0 a 2	1,5 - 3	$60^{\circ}$
GTAW	4,0 - 6,0	0 a 1	1,5 - 2	$70^{\circ}$
GTAW	6,0 - 16,0	1 a 2	1 - 1,5	$60^{\circ}$
GMAW	4,0 - 13,0	2	1,5 - 3	$60^{\circ}$
FCAW	4,0 - 19,0	2 a 3	2	$60^{\circ}$ - $70^{\circ}$
SAW	9,0 - 15,0	0 a 2	1,5 - 4	$60^{\circ}$ - $80^{\circ}$

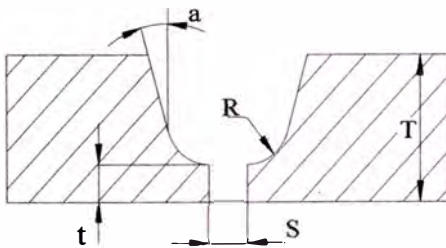
**Figura 5.10: Preparaciones recomendadas para el soldeo de aceros inoxidables-  
(Continuación)**



$T > 19 \text{ mm}$   
 $t = 2 \text{ mm}$   
 $A = 40^\circ$   
 $B = 10^\circ$   
 $S = 2 \text{ mm}$

Preparación utilizadas sobre todo en el soldeo de tubería para espesores mayores de 19 - 20 mm, utilizando los procesos SMAW y GTAW ó GMAW

**Bisel en U,  $R = 4 - 8 \text{ mm}$**

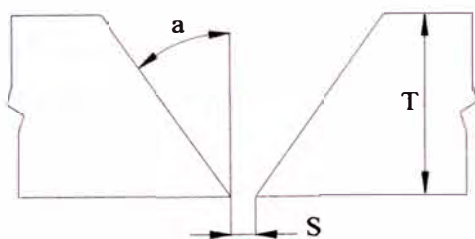


Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Abertura de raíz S(mm)	Talón t (mm)	Angulo (a)
SMAW	> 20	2	2	10°
GTAW	> 20	2	2	10°
GMAW	13 - 19	2	2 a 3	15°

Utilizado en tubería para espesores >20mm con procesos GTAW y SMAW.

Si el soldeo es por las dos caras se preferirán las geometrías en X o en doble U.

**En V**

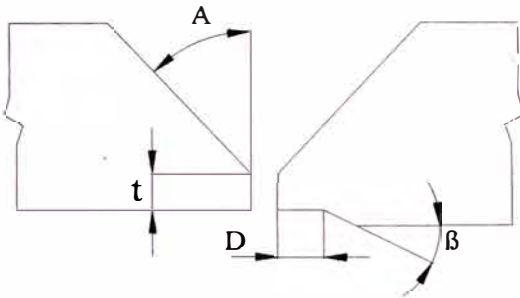


Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Abertura de raíz S(mm)	Angulo (a)
SMAW	6 a 10	3	45°
	10 a 20	5	30°
	20 a 30	10	20°
GTAW	4 a 20	2	60°-70°

Utilizado para tubería con insertos consumibles y para soldeo con respaldo

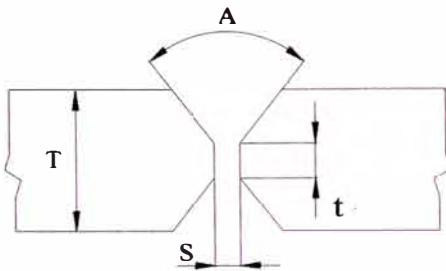
**Figura 5.10: Preparaciones recomendadas para el soldeo de aceros inoxidables  
(Continuación)**

Ejemplo de preparación de unión para soldeo de tuberías de diferente espesor.



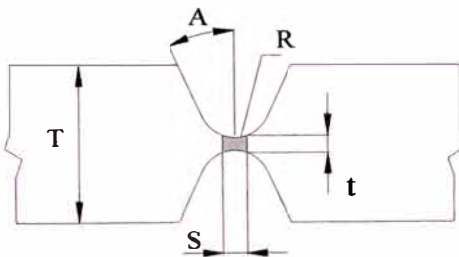
$A = 40^\circ$   
 $t = 2 \text{ mm}$   
 $D = 2 \text{ veces la diferencia de espesor}$   
 $B = \text{máx } 30^\circ$

Bisel en V doble



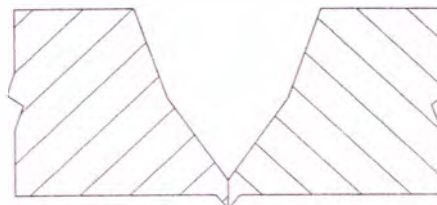
Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Abertura de raíz S (mm)	Talón t (mm)	Angulo de bisel (A)
SMAW	13 - 35	1 a 3	1,5 - 4	$60^\circ$
GTAW	$> 20$	0 a 2	$< 2$	$60^\circ - 90^\circ$
GMAW	13 - 35	1 a 3	1,5 - 4	$60^\circ$
FCAW	13 - 76	3		$45^\circ$
SAW	13 - 35	1 a 3	1,5 - 4	$60^\circ$

En V



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Abertura de raíz S (mm)	Talón t (mm)	Angulo de bisel (A)
SMAW	$> 32$	1 a 2	2 a 3	$10^\circ - 15^\circ$
GTAW	$> 13$	$< 2$	2,4	$10^\circ - 15^\circ$
GTAW	$> 20$	0 a 2	4 a 8	$10^\circ - 15^\circ$

Preparación en V con chaflán ensanchado para suministrar el metal de aportación de la primera pasada; se puede utilizar en el soldeo del acero 316 LN no siendo muy recomendable para el soldeo del dúplex 2205.



## 5.8 SOLDEO FUERTE

Existen varias aplicaciones en las que se utilizo el soldeo fuerte para los aceros inoxidable como proceso de unión de estos materiales. Para obtener uniones sanas con cualquiera de los procesos de soldeo fuerte, las piezas deberán estar perfectamente limpias (desengrasadas y decapadas) realizándose el soldeo justo después de su limpieza, si esto no fuera posible, las piezas se deberán guardar en bolsas de plástico selladas. Los procesos de soldeo fuerte preferidos son los que utilizan vacío o gases inertes como protección, ya que de esta forma se evita la retirada posterior del fundente cuya presencia favorecería la corrosión del acero en servicio. Pero limitado a geometrías.

Como metales de aportación se utilizan los de tabla siguiente:

TABLA 5.12: Metales de aportación en el soldeo fuerte de aceros inoxidables

<b>Metal de aportación para el soldeo fuerte</b>	<b>Temperatura de servicio (°C)</b>
Aleaciones de plata	Hasta 370 °C
Aleaciones de cobre	Hasta 370 °C
Aleaciones cobre-manganeso-níquel (53Cu - 37Mn - 10Ni)	425 °C - 540 °C
Aleaciones de níquel y aleaciones de oro	Mayor de 540 °C

## 5.9 SOLDEO BLANDO

La capa superficial de óxido que protege el acero inoxidable dificulta el soldeo blando y el soldeo fuerte; sin embargo, con el empleo de fundentes y técnicas adecuadas se pueden obtener soldaduras de gran calidad.

Como metales de aporte se utilizan aleaciones de cinc, con contenidos elevados de este, en general mayores del 50%, ya que cuanto mayor sea su contenido mejor es el mojado del acero inoxidable. El metal de aportación debe elegirse de forma que sea compatible con el acero inoxidable y con el ambiente al que va estar expuesto.

Se deberá realizar una buena limpieza de las piezas, retirando cualquier resto de grasa, suciedad y óxido; sin embargo no se deberá pulir la superficie. El soldeo blando se realizara inmediatamente después de la limpieza y si no fuera posible, se cubrirán las piezas con estaño o con el metal de aportación que se vaya a utilizar.

Cuando el diseño de las piezas sea complicado y no se pueda comprobar visualmente si el metal de aportación ha fluido por la intercara de las piezas, se preferirá recubrirlos previamente.

El soldeo se puede realizar con cualquier método de calentamiento, sin embargo, debido a la baja conductividad térmica del acero inoxidable, el soldeo se debe realizar despacio permitiendo de esta forma que todas las partes de la unión alcancen la temperatura de las piezas para poder soldar más deprisa, ya que el fundente perdería su actividad y no realizaría su función protectora, oxidándose tanto el metal base como el metal de aportación.

Los fundentes deben emplearse con cuidado, ya que pueden dañar la piel y los ojos. Después del soldeo se retirará completamente cualquier resto de fundente.

## **5.10 CORTE TERMICO**

La capa de óxido protectora impide el oxicorte convencional de las piezas de acero inoxidable. Para oxicortar un acero inoxidable será necesario utilizar los métodos de corte con fundente o con polvo metálico, sin embargo la calidad del corte es muy baja. El método más utilizado es el corte por plasma. A veces se utiliza el corte o resanado por arco aire, siendo necesario amolar las superficies de corte para eliminar la capa carburada que se obtiene tras la utilización de este proceso.



## **CAPITULO VI**

### **IMPLEMENTACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Para la construcción de un tanque agitador en acero inoxidable, se implemento nuevos procedimientos de soldadura. Para esto, nos basamos en la Norma ASME, sección IX, por ser una construcción soldada para un tanque. Además porque así lo exige la Norma API650. Para ello seguiremos los siguientes pasos:

#### **6.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

Un WPS detalla los métodos y prácticas involucradas en la producción de una soldadura.

##### **Responsabilidades:**

- Cada Fabricante o Contratista es responsable de la soldadura hecha por su organización, por lo que debe documentar el WPS y conducir los procedimientos requeridos para la calificación del proceso de soldadura.

##### **Tipos de variables:**

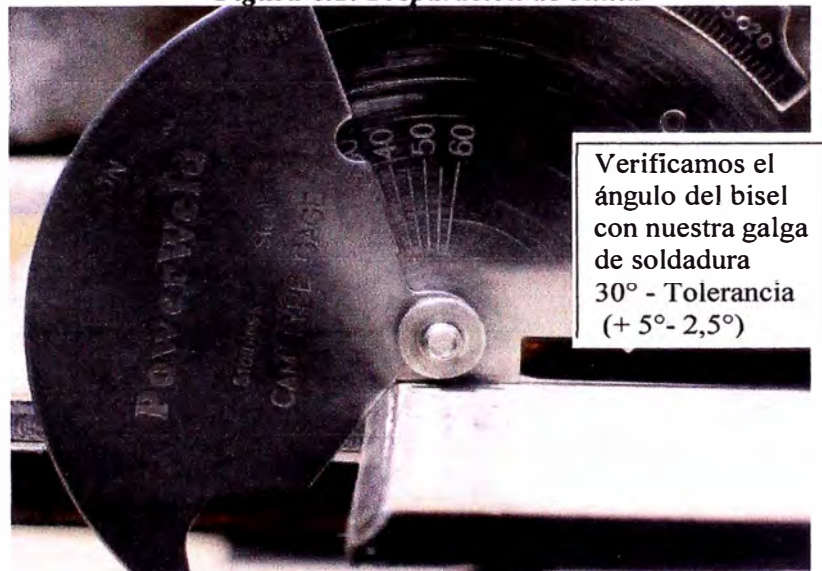
- Variables Esenciales
- Variables Esenciales Suplementarias
- Variables no esenciales

### Principales variables cubiertas en un WPS:

- a) **Tipo de junta.-** Para el diseño de la junta se toma en cuenta lo que nos exige la norma, en este caso penetración completa, por tratarse de un tanque de almacenamiento, en base a ello seleccionamos una junta favorable para lograr esto.

*En nuestro caso empleamos una junta en V con ángulo de 70° con talón 2mm.*

**Figura 6.1: Preparación de Junta**

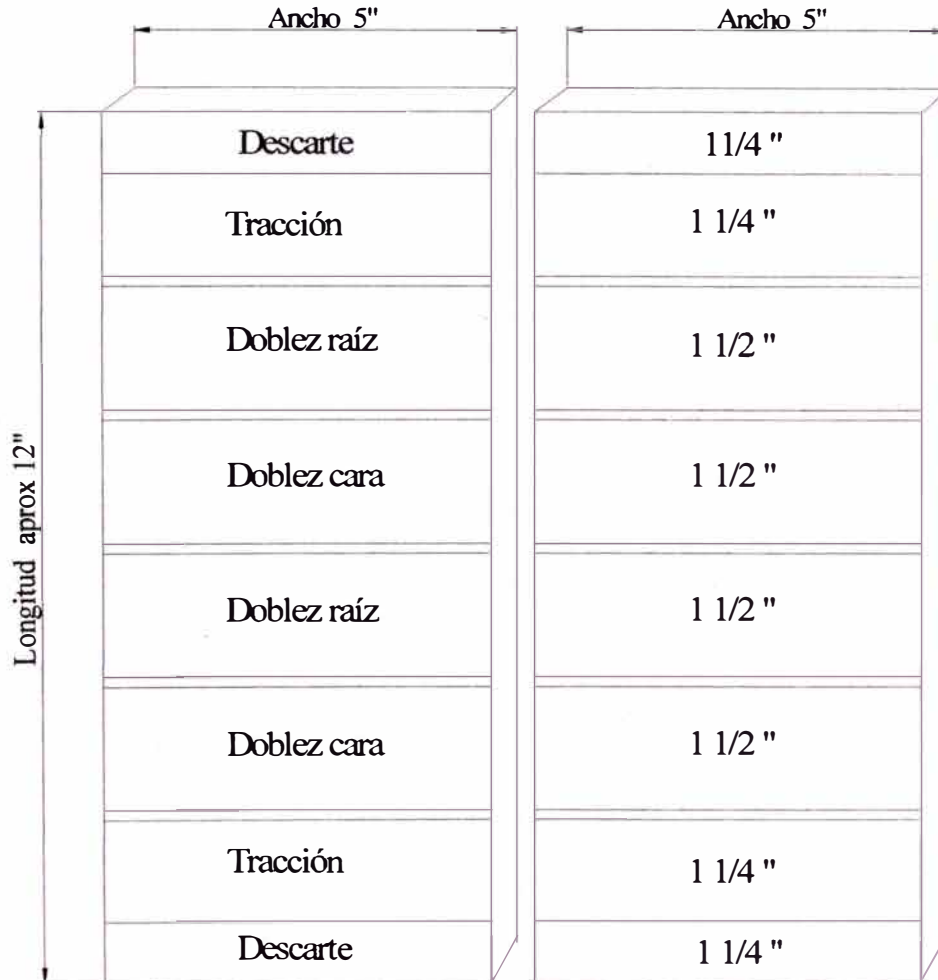


- b) **Metal Base.-** Un punto importante en el procedimiento a seguir, es la identificación del material base con el cual vamos a trabajar, ya que posteriormente nos servirá.

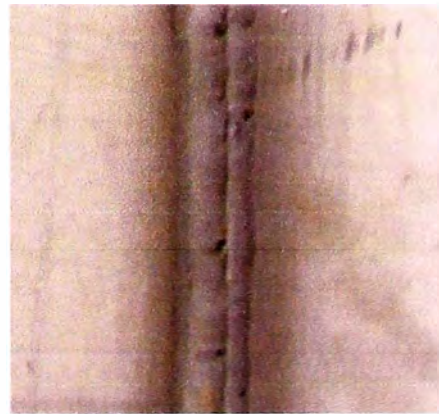
Para esto nos guiamos del certificado de calidad del material y en función a ellos lo ubicamos en la tabla de código QW/QB-422, que maneja la norma ASME sección IX el cual nos indica en función % de carbono u o aleantes, así también para el caso de materiales no ferrosos. Luego de ver la clasificación, anotar código, pues nos será solicitado en la hoja del WPS.

Por ejemplo para nuestro caso se habilito dos planchas de espesor 3/8" x ancho 5" x longitud 12" en acero inoxidable 316L. Ver fig. 6.2.

**Figura 6.2: Medidas y distribución de Probetas en plancha para calificación de WPS**

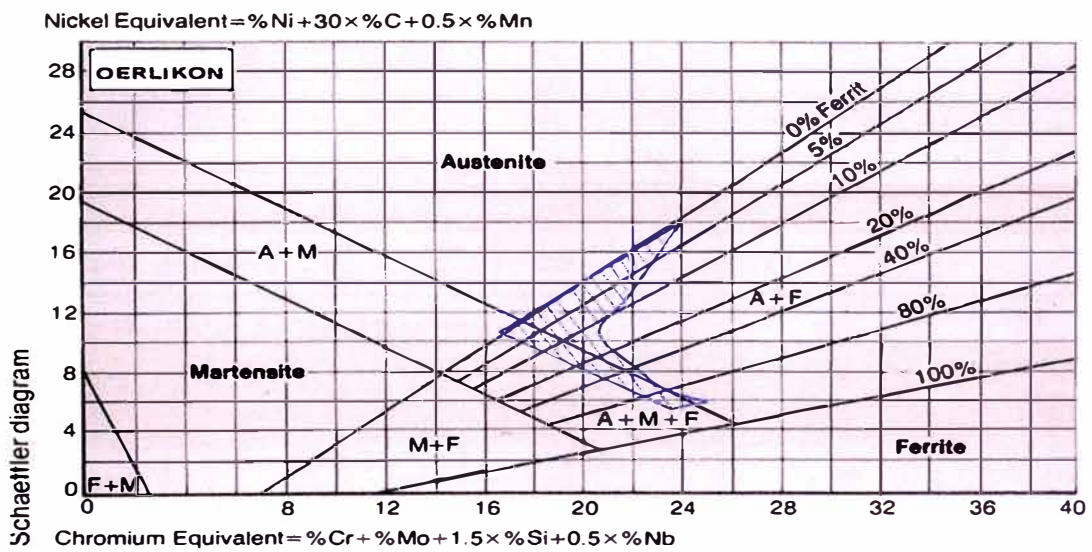


**Figura 6.3: Planchas, terminadas para calificación de procedimiento**



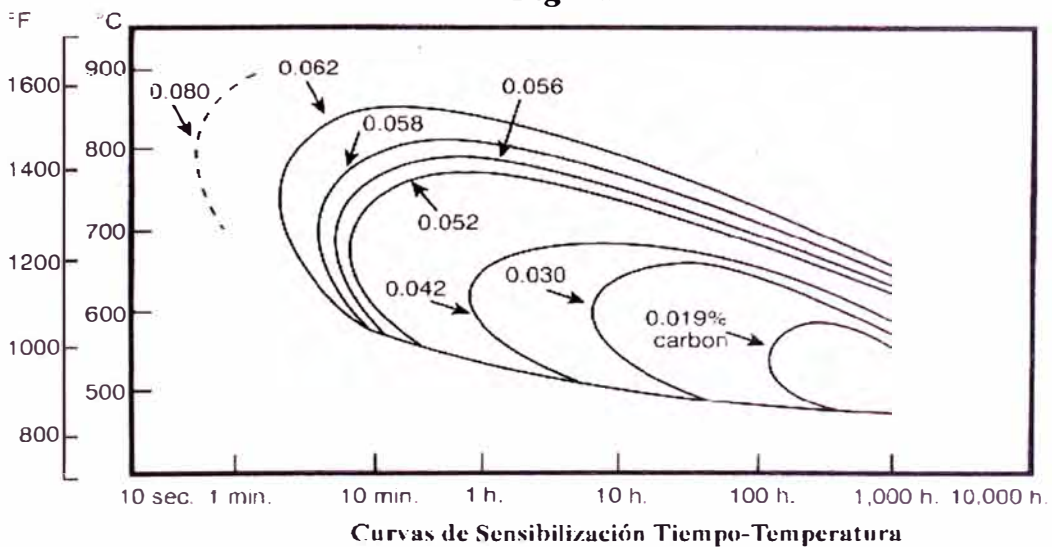
- c) **Metales de Aporte.**- Es importante que el metal de aporte sea lo más parecido al metal base, para garantizar una homogeneidad en la soldadura. También debe cumplir con los valores de esfuerzos permisibles, guardando la relación que la resistencia del metal de aporte debe ser mayor o igual al metal base.

**Diagrama Schaeffler** *Figura 6.4*




*Para selección del material de aporte, nos apoyamos del diagrama Schaeffler. Para prevenir la fisuración en caliente el número de ferrita debe estar entre 5-15 FN*

**Figura 6.5**



*Efecto del control del carbono en la precipitación de carburos en el Tipo304*

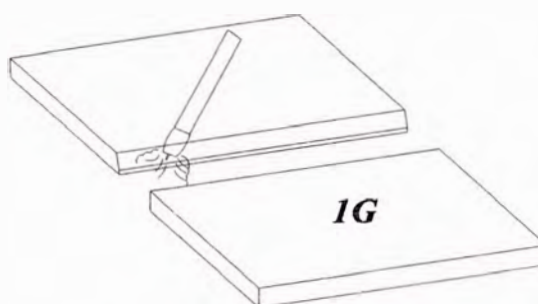
**Tabla 6.1: Especificación Técnica del Material de Aporte**

<b>EXSAFIL 2010Mo</b>		<b>SOLDEXA</b>							
		<b>GMAW</b>							
		<b>Acero Inoxidable</b>							
<p>Los cordones de soldadura depositados con EXSAFIL 2010 Mo tienen alta resistencia a la corrosión, y su bajo contenido de carbono reduce la posibilidad de formación de carburos de cromo y corrosión intergranular aún a temperaturas de 350°C.</p>									
<b>Clasificación</b>									
AWS A5.9 / ASME SFA-5.9		ER 316L							
<b>Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]</b>									
C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.02	1.40	0.45	máx 0.025	máx 0.020	2.6	12.5	19	-	---
<b>Propiedades Mecánicas del Metal Depositado</b>									
Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Limite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (20°C) [J]					
Sin tratamiento	> 510 (73 950)	> 350 (50 750)	> 30	47					
<b>Conservación del producto</b>				<b>Posiciones de Soldadura</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>- No requiere almacenamiento bajo vacío.</li> </ul>				P, H, Va, Sc. 					
<b>Parámetros de soldeo recomendados</b>									
Diámetro [mm (pulg)]	0.80 (0.030)		1.00 (0.040)						
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo (DCEP)								
Gas protector	98% Ar + 2% CO <sub>2</sub>								
Posición de soldadura	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]					
Plana, Filete Horizontal	105 - 160	20 - 23	80 - 210	20 - 25					
Horizontal	75 - 105	19 - 20	120 - 180	18 - 23					
Vertical Ascendente	85 - 125	17 - 21	130 - 180	19 - 22					
Sobrecabeza	90 - 150	18 - 19	125 - 190	18 - 21					
<b>Aplicaciones</b>									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El EXSAFIL 2010 Mo se emplea para soldar aceros con alta resistencia a la corrosión excepto cuando hay presencia de sales o ácidos sulfurosos.</li> <li>• Unión de aceros AISI 316 - 316 L, X4CrNiMo 17-12-2, X6CrNiMoTi 17-12-2.</li> <li>• Unión de aceros 18% Cr - 8% Ni tales como AISI 308 - 308L.</li> </ul>									

Para nuestro caso empleamos como aporte el EXAFIL 2010Mo, en rollo.

- d) **Posición de Soldadura.-** Se indica la posición dentro del procedimiento que ira ha realizarse para luego ser calificado. Esta posición debe ser tal que permita al soldador cubrir satisfactoriamente las exigencias de soldabilidad del material. No siendo necesario cubrir la posición del proceso de producción, en caso no rinda el soldador en dicha posición.

*Figura 6.6: Para nuestro caso se califico en Posición plana*




- e) **Selección del proceso de soldadura.-** Por tema de rendimiento y aminorar el aporte de calor en la soldadura, por motivo de deformación y limpieza se opta por emplear el proceso GMAW. A continuación presentamos un cuadro comparativo, resumido entre dos de los procesos considerados para su aplicación.

**Tabla 6.2: Diferenciación de las Características del proceso de soldadura SMAW y GMAM**

SMAW	GMAW
Se emplea el 65% del material de aporte	Se emplea casi el 100% del aporte
Cordones de soldadura de corta longitud	Cordones de soldadura de larga longitud
Menor cantidad de aporte	Mayor cantidad de aporte
Requiere mayor limpieza entre pases	Requiere ligera limpieza entre pases
Genera mayor aporte de calor para ZAT	Genera menor aporte de calor para ZAT



**Tabla 6.4 WPS-06, para modo de transferencia en corto circuito (SC) + spray (S).**


 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>  <b>WPS N° - 006</b>	WPS N° 006	
		HOJA:	2 de 2
		EMISION:	22/ 12/ 2008
		REVISION:	0

<b>POSICIONES (QW-405)</b>				<b>TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO</b>			
Posición(es) de ranura		Plana		Rango de temperatura:		NO.	
Progresión:		N.A.		Tiempo:		NO.	
Posición de filete		TODAS		<b>GAS (QW-408)</b>			
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>				Composición Porcentual %			
Temp. Precaentamiento	Min.:	NO.		Gas(es)	Mezcla	Flujo	
Temp. Interpase	Máx:	NO.		Protección	Ar/CO2	98/2	15 Lts/min
Mantenimiento precalentamiento:		NO.		Arrastre	NA	NA	NA
				Respaldo	NA	NA	NA
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>							
Corriente AC o DC		VER TABLA		Polaridad		VER TABLA	
Rango de amperaje		VER TABLA		Rango de voltaje		VER TABLA	
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno		NA					
(Tungsteno puro, 2% toriado, etc.)							
Modo de transferencia en GMAW		Corto circuito y Spray					
<b>TÉCNICA (QW-410)</b>							
Pase cordón o tejido		Recto y Oscilado					
Orificio o tamaño de protección gaseosa		N.A					
Limpieza inicial y entre pasadas		ESMERILADO. ESCOBILLADO					
Método de resane de raíz		ESMERILADO					
Oscilación		VARIABLE					
Distancia de boquilla a pieza de trabajo		10 – 15 mm.					
Pase múltiple o simple		MULTIPLE					
Electrodo simple o múltiple		SIMPLE					
Velocidad de avance (rango)		VER TABLA					
Martilleo		NO					
Otro		NO					
<b>REGISTRO DE INFORMACIÓN DE SOLDADURA</b>							
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)
		Clase	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)		
1(Raíz)	GMAW - sc	ER - 316L	0.8	DC (+)	90-117	20-25	21-25
2 a n (Relleno y Pase final)	GMAW - s	ER - 316L	0.8	DC (+)	150-185	23-28	35-40
<b>Inspeccionado por: Felipe Yañez Coz</b>							
Por: <u>Adj. Ronal Johnny Palomino Nolasco</u> <b>Departamento de Control de Calidad</b>							





**Tabla 6.6 WPS-07, para modo de transferencia en corto circuito (SC)**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>  <b>WPS N°- 007</b>	WPS N° 007	
		HOJA:	2 de 2
		EMISION:	22/12/2008
		REVISION:	0

<b>POSICIONES (QW-405)</b>			<b>TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO</b>			
Posición(es) de ranura	TODAS		Rango de temperatura:	NO.		
Progresión:	TODAS		Tiempo:	NO.		
Posición de filete	TODAS		<b>GAS (QW-408)</b>			
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>			Composición Porcentual %			
Temp. Pre calentamiento	Mín.:	NO.		Gas(es)	Mezcla	Flujo
Temp. Interpase	Máx.:	NO.	Protección	Ar/CO2	98/2	15 Lts/min
Mantenimiento pre calentamiento:	NO.		Arrastre	NA	NA	NA
			Respaldo	NA	NA	NA

<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>						
Corriente AC o DC	VER TABLA		Polaridad	VER TABLA		
Rango de amperaje	VER TABLA		Rango de voltaje	VER TABLA		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno	NA					
(Tungsteno puro, 2% toriado, etc.)						
Modo de transferencia en GMAW	Corto circuito					

<b>TÉCNICA (QW-410)</b>	
Pase cordón o tejido	Recto y Oscilado
Orificio o tamaño de protección gaseosa	N.A
Limpieza inicial y entre pasadas	ESMERILADO, ESCOBILLADO
Método de resane de raíz	ESMERILADO
Oscilación	VARIABLE
Distancia de boquilla a pieza de trabajo	10-15 mm
Pase múltiple o simple	MULTIPLE
Electrodo simple o múltiple	SIMPLE
Velocidad de avance (rango)	VER TABLA
Martilleo	NO
Otro	NO

REGISTRO DE INFORMACIÓN DE SOLDADURA							
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)
		Clase	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)		
1(Raiz)	GMAW - sc	ER - 316L	0.8	DC (+)	90-120	19-23	21-25
2 a n (Relleno y Pase final)	GMAW - sc	ER - 316L	0.8	DC (+)	100-130	20-24	22-26

**Inspeccionado por : Felipe Yañez Coz**

Por: Adj. Ronal Johnny Palomino Nolasco  
Departamento de Control de Calidad

## 6.2 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)

El PQR es un documento que registra los resultados obtenidos de los NDT y DT realizados, mediante las cuales califica el WPS.

### Generalidades

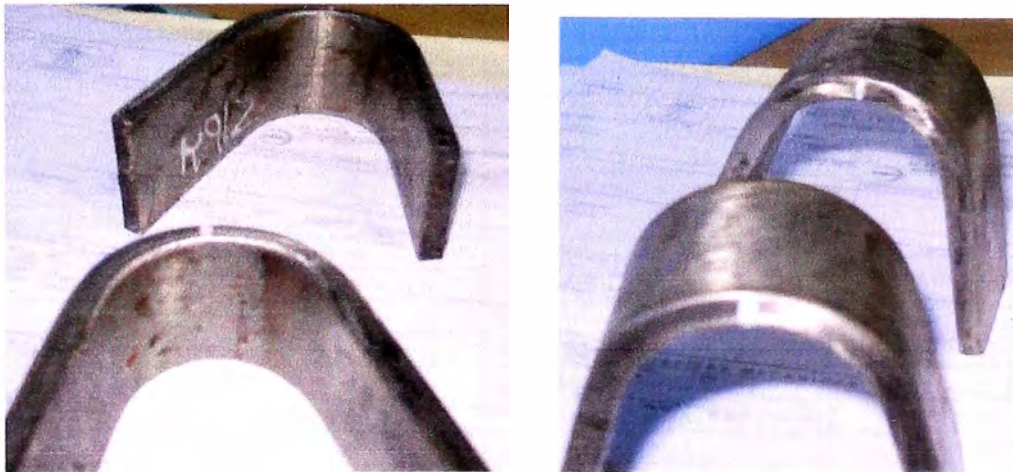
- No se permiten cambios en el PQR ya que es un registro de lo que ha sucedido en una prueba específica.
- A un PQR se le puede incorporar información adicional, siempre que la información este documentada como parte de la calificación original.
- Según ASME el PQR debe ser calificado con exactitud por el fabricante, este no puede contratar otra organización para poder calificar el procedimiento de soldadura.
- Un WPS puede necesitar varios PQRs para calificarlo (según ASME).
- La Norma Europea EN 288 describe las especificaciones y métodos de aprobación de los procedimientos de soldadura, esta describe cinco métodos para la aprobación de los procedimientos de soldadura.
- Los tipos de prueba para la calificación de un WPS según AWS D1.1 son: Inspección Visual, Pruebas No destructivas (Ensayos Radiográficos o de Ultrasonido), Pruebas de Doble, de Tracción.

Se procede a Trazar para separar las probetas que serán sometidas a doblez y a tracción.

**Figura 6.7: Trazo de planchas**



**Figura 6.8: Probetas Después del Ensayo de Dobleza**




Estas cuatro probetas se realizaron para poder calificar el procedimiento de soldadura, para ello se conto con dos probetas para doblez de cara (lado izquierdo) y dos probetas para doblez de raíz (lado derecho).

*Nota: Las medidas de plancha y probetas se fabricaron de acuerdo con la sección IX norma ASME.*



**Tabla 6.8 PQR-06, para modo de transferencia en corto circuito (SC)+ spray (S)**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>REGISTROS DE PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR Nº - 006</b>	PQR Nº- 006	
		HOJA:	2 de 2
		EMISION:	22/12/2008
		REVISIÓN:	0

QW-483							
PRUEBA DE TRACCIÓN ( QW - 150 )							
Especimen Nº	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Ultima Carga Total (Kg) / (KN)	Ultimo Unidad de Esfuerzo (MPa)	Ubicación Rotura	
1	19.9	8.9	177	11 040 / 108.2	610.9	Soldadura	
2	20.3	8.9	180.6	11 060 / 108.4	600.0	Soldadura	
PRUEBA DIRIGIDA DE DOBLEZ ( QW - 160 )							
Tipo y Figura Nº				Resultado			
Doble de Raíz				Aceptado			
Doble de Raíz				Aceptado			
Doble de Cara				Aceptado			
Doble de Cara				Aceptado			
PRUEBA DE DUREZA ( QW - 170 )							
Especimen Nº	Localización de Muesca	Tamaño de Especimen	Temperatura de Prueba	Valores de Impacto			Rotura ( Si o No )
				ft-lb	% Corte	Mils	
Comentarios:							
PRUEBA DE FILETE-SOLDADURA ( QW -180)							
Resultado - Satisfactorio: Si ___ N.A. ___ No ___ N.A. ___ Penetración en Metal Padre: Si ___ N.A. ___ No ___ N.A. ___							
Macro - Resultado _____ N.A. _____							
OTRAS PRUEBAS							
Tipo de Prueba: _____ N.A. _____							
Análisis de Deposito: _____ N.A. _____							
Otros: Inspección Visual : Conforme Inspeccionado por: Felipe Yañez Coz							
Nombre del Soldador : ___Deusto Ipuchima Lachuma ___ Numero de Estampa: D I L							
Prueba de Tracción Conducida por : ___Universidad Nacional de Ingeniería___ Prueba de Laboratorio No. ___Lb4-1242-2008___							
Prueba de DobleZ Conducida por : ___Tama Ingenieros S.A.C.___ Prueba Nº : P-03/2008							
Nosotros certificamos que las declaraciones en el escrito son correctas y que las pruebas de soldadura fueron preparadas, soldadas, y probadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del código ASME 2004.							
Fabricante: TAMA INGENIEROS S.A.C.							
Por: Adj. Ronal Johnny Palomino Nolasco							
<b>Departamento de Control de Calidad</b>							
Fecha: 22 de Diciembre 2008							

**Tabla 6.9 QW- 150: Ficha técnica del ensayo de tracción que sirve de respaldo para el PQR-06**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**LABORATORIO DE MECANICA - LAB N° 4**  
 LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA, ENSAYOS MECANICOS Y METROLOGIA

INFORME TECNICO  
Lb4-1242-2008

**ENSAYO DE TRACCION A PROBETAS DE  
ACERO INOXIDABLE**

SOLICITANTE : **TAMA INGENIEROS S.A.C.**  
 REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 095391  
 FECHA : Lima, 22 de Diciembre de 2008


1. ANTECEDENTES  
Se recibió dos (02) probetas de acero inoxidable, para realizarles ensayo de tracción, según WPS N° 006.
2. DE LAS MUESTRAS  
Se identificó según el cliente, como:  
 Probeta 1: Acero Inoxidable AISI 316L  
 Probeta 2: Acero Inoxidable AISI 316L
3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO  
Según Norma ASME SECCION IX
4. EQUIPOS UTILIZADOS  
Máquina Universal de Ensayos marca TOKYOKOKI SEIZOSHO, Capacidad 100 TON.  
 Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
5. CONDICIONES DE ENSAYO  
Medio ambiente
6. RESULTADOS

PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MAXIMA (Kg)	ESFUERZO MAXIMO Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	OBSERVACION
1	8,9	19,9	11 040	62,30 (610,9)	Rompió en la soldadura
2	8,9	20,3	11 060	61,2 (600,0)	Rompió en la soldadura

*R. Palomino*  
**TAMA INGENIEROS S.A.C.**  
 Depart. Calidad

JEFATURA  
**ING. WILSON J. SILVA VASQUEZ**  
 CIP. 41941  
 Jefe del Laboratorio N° 4

**Tabla 6.10 QW-160: Ficha técnica del ensayo de dobléz que sirve de respaldo para el PQR-06**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>ENSAYO DE DOBLEZ QW-160</b>	QW Nº: 006	
		HOJA:	1 de 1
		EMISION:	18/12/2008
		REVISIÓN:	0

PRUEBA Nº : P- 03/2008

REALIZADO POR : Ronal Johnny Palomino Nolasco

MUESTRA : Probeta de Plancha soldada, Material SA 240 Grado: 316L , espesor 9 mm

RESULTADO:

Probeta	Angulo Doblado	Observación
1	180°	<i>Sin fisura</i>
2	180°	<i>Sin fisura</i>
3	180°	<i>Sin fisura</i>
4	180°	<i>Sin fisura</i>

OBSERVACIÓN :

PROBETA	DESCRIPCIÓN
1	DobleZ Raiz
2	DobleZ Cara
3	DobleZ Raiz
4	DobleZ Cara

OTROS:

Nombre del Soldador: \_\_\_Deusto Ipuchima Lachuma \_\_\_ Numero de Estampa: D I L

Norma de ensayo: ASME 2004, sección IX  
Procedimiento de Soldadura Nº WPS-006


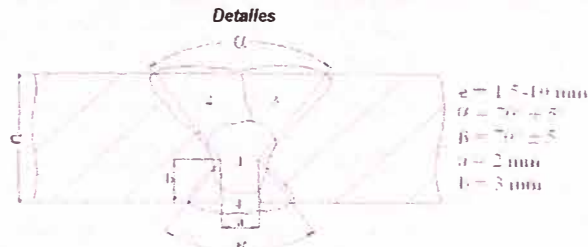
Inspeccionado por: Felipe Yáñez Coz

\_\_\_\_\_  
VºBº. ING. Q.C


Fecha: 18 de Diciembre 2008



**Tabla 6.11 PQR-07, para modo de transferencia en corto circuito (SC)**

		<b>REGISTROS DE PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (PQR)</b> <b>PQR N° - 007</b>				PQR N°- 007		
						HOJA:	1 de 2	
						EMISION:	22/12/2008	
						REVISION:	0	
<b>QW-483</b>								
Por :	PALOMINO NOLASCO RONAL JOHNNY							
WPS N°:	007	Revisión :	0					
Proceso(s) de soldadura:	GMAW-sc			Tipo:	SEMIAUTOMATICO			
<b>JUNTA ( QW-402 )</b>								
								
<b>METAL BASE ( QW-403 )</b>			<b>TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA</b>					
Especificación del material:		SA240 con SA240		Temperatura:	N.O.			
Tipo o grado:		TP 316L		Tiempo:	N.O.			
N° P:	8 / 8	Grupo N° :	1 / 1					
Espesor de prueba de cupón:		9 mm		Otro:	N.O.			
Diámetro de prueba de cupón:		NO		<b>GAS ( QW-408 )</b>				
Otro:		NO		% Porcentaje de Composición				
<b>METAL DE APORTE ( QW-404 )</b>		5.9		Gas(es)	Mezcla	Flujo		
Especificación SFA:		ER-316L		Protección	Ar/CO2	98/2		
Clasificación AWS:		6		Arrastre	NA	NA		
Metal de Aporte F- N° :		8		Respaldo	NA	NA		
Análisis del metal depositado A - N° :		0.8 mm		<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS ( QW - 409 )</b>				
Tamaño del electrodo (Diámetro):		9 mm		Corriente:	Ver Registro de Información de Soldadura			
Espesores del metal depositado:		NO		Polaridad:				
Otros:		NO		Amperios:				
				Voltios:				
<b>POSICIÓN ( QW-405 )</b>		1G		Tamaño del electrodo de Tungsteno:				
Posición de Ranura:		NO		<b>TECNICA ( QW - 410 )</b>				
Progresión del depósito:		NO		Velocidad de Avance:	Ver Tabla			
Otro (Filete) :		NO		Recto o tejido:	Tejido			
<b>PRECALENTAMIENTO ( QW-406 )</b>		NO		Oscilación:	Variable			
Temp. Pre calentamiento:		NO		Pasos Múltiples o un solo pase (por lado) :	Múltiple			
Temp. Entrepases:		NO		Electrodo Simple o Múltiples	Simple			
Otro:		NO		Otro:	NO			
<b>REGISTRO DE INFORMACIÓN DE SOLDADURA</b>								
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)	
		Clase	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)			
1 (Raiz)	GMAW- sc	ER- 316L	0.8	DC (+)	100-110	22-23	23	
2, 3	GMAW- sc	ER- 316L	0.8	DC (+)	110-125	21-22	26	
4 (Back Weld)	GMAW- sc	ER- 316L	0.8	DC (+)	115-125	22	22	

**Tabla 6.12 PQR-07, para modo de transferencia en corto circuito (SC)**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>REGISTROS DE PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b> <b>PQR N° - 007</b>				PQR N° - 007	
					HOJA:	2 de 2
					EMISION:	22/12/2008
					REVISIÓN:	0

<b>QW-483</b>						
<b>PRUEBA DE TRACCIÓN ( QW - 150 )</b>						
Espécimen N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Última Carga Total (Kg) / (KN)	Último Unidad de Esfuerzo (MPa)	Ubicación Rotura
1	22.0	8.9	195.8	11 740 / 115.1	587.6	Soldadura
2	20.6	8.9	183.3	11 120 / 109	594.4	Soldadura

<b>PRUEBA DIRIGIDA DE DOBLEZ ( QW - 160 )</b>	
Tipo y Figura N°	Resultado
Doble de Raíz	Aceptado
Doble de Raíz	Aceptado
Doble de Cara	Aceptado
Doble de Cara	Aceptado

<b>PRUEBA DE DUREZA ( QW - 170 )</b>							
Espécimen N°	Localización de Muesca	Tamaño de Espécimen	Temperatura de Prueba	Valores de Impacto			Rotura ( Si o No )
				ft-lb	% Corte	Mils	

Comentarios:

**PRUEBA DE FILETE-SOLDADURA ( QW - 180 )**

Resultado - Satisfactorio: Si \_\_\_ N.A. \_\_\_ No \_\_\_ N.A. \_\_\_ Penetración en Metal Padre: Si \_\_\_ N.A. \_\_\_ No \_\_\_ N.A. \_\_\_

Macro - Resultado: \_\_\_\_\_ N.A. \_\_\_\_\_

**OTRAS PRUEBAS**

Tipo de Prueba: \_\_\_\_\_ N.A. \_\_\_\_\_

Análisis de Deposito: \_\_\_\_\_ N.A. \_\_\_\_\_

Otros: Inspección Visual : Conforme  
Inspeccionado por: Felipe Yáñez Coz

Nombre del Soldador : \_\_\_ Deusto Ipuchima Lachuma \_\_\_ Numero de Estampa D I L  
Prueba de Tracción Conducida por: \_\_\_ Universidad Nacional de Ingeniería \_\_\_ Prueba de Laboratorio No : \_\_\_ Lb4-1243-2008 \_\_\_  
Prueba de DobleZ Conducida por : \_\_\_ Tama Ingenieros S.A.C \_\_\_ Prueba N° : P-04/2008

Nosotros certificamos que las declaraciones en el escrito son correctas y que las pruebas de soldadura fueron preparadas, soldadas, y probadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del código ASME 2004.

Fabricante: TAMA INGENIEROS S.A.C.

Por: Adj. Ronal Johnny Palomino Nolasco  
**Departamento de Control de Calidad**

Fecha: 22 de Diciembre 2008

**Tabla 6.13 QW – 150: Ficha técnica del ensayo de tracción que sirve de respaldo para el PQR-07**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**LABORATORIO DE MECANICA - LAB N° 4**  
 LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA, ENSAYOS MECANICOS Y METROLOGIA

INFORME TECNICO  
Lb4-1243-2008

**ENSAYO DE TRACCION A PROBETAS DE  
ACERO INOXIDABLE**

SOLICITANTE : **TAMA INGENIEROS S.A.C.**  
 REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 095391  
 FECHA : Lima, 22 de Diciembre de 2008


1. ANTECEDENTES  
Se recibió dos (02) probetas de acero inoxidable, para realizarles ensayo de tracción, según WPS N° 007.
2. DE LAS MUESTRAS  
Se identificó según el cliente, como:  
 Probeta 1: Acero Inoxidable AISI 316L  
 Probeta 2: Acero Inoxidable AISI 316L
3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO  
Según Norma ASME SECCION IX
4. EQUIPOS UTILIZADOS  
Máquina Universal de Ensayos marca TOKYOKOKI SEIZOSHO, Capacidad 100 TON.  
 Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
5. CONDICIONES DE ENSAYO  
Medio ambiente
6. RESULTADOS

PROBETA	ESPEJOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MAXIMA (Kg)	ESFUERZO MAXIMO Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	OBSERVACION
1	8,9	22,0	11 740	60,0 (587,6)	Rompió en la soldadura
2	8,9	20,6	11 120	60,6 (594,4)	Rompió en la soldadura

*R. Palacios*  
**TAMA INGENIEROS S.A.C.**  
 Depart. Calidad

*Wilson J. Silva Vasquez*  
**ING. WILSON J. SILVA VASQUEZ**  
**CIP. 41941**  
 Jefe del Laboratorio N° 4

**Tabla 6.14 QW-160: Ficha técnica del ensayo de dobléz que sirve de respaldo para el PQR-07**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>ENSAYO DE DOBLEZ QW-160</b>	QW Nº: 007	
		HOJA:	1 de 1
		EMISION:	18/12/2008
		REVISIÓN:	0

PRUEBA Nº : P- 04/2008  
REALIZADO POR : Ronal Johnny Palomino Nolasco  
MUESTRA : Probeta de Plancha soldada Material SA 240 Grado 316 L, espesor 9 mm

**RESULTADO:**

Probeta	Angulo Doblado	Observación
1	180°	<i>Sin fisura</i>
2	180°	<i>Sin fisura</i>
3	180°	<i>Sin fisura</i>
4	180°	<i>Sin fisura</i>

**OBSERVACIÓN :**

PROBETA	DESCRIPCIÓN
1	Doblez Raiz
2	Doblez Cara
3	Doblez Raiz
4	Doblez Cara

**OTROS:**

Nombre del Soldador: \_\_\_Deusto Ipuchirna Lachuma \_\_\_ Numero de Estampa: D I L

Norma de ensayo: ASME 2004, sección IX  
Procedimiento de Soldadura Nº WPS-007

\_\_\_\_\_  
VºBº. ING. Q.C

Fecha: 18 de Diciembre 2008

### **6.3 CALIFICACIÓN DE LA HABILIDAD Y DESEMPEÑO DE UN SOLDADOR (WPQ)**

Determina la habilidad del soldador para realizar depósitos de soldadura aceptables, con la finalidad de tener total seguridad en la ejecución de la soldadura. Aquí se busca que cubra las posiciones del proceso de producción.

#### **Generalidades**

- Se debe realizar conforme a un WPS calificado.
- La calificación de un soldador bajo una norma, no implica su calificación bajo una norma distinta.
- Cuando se produce un cambio en una o más variables esenciales, el soldador tiene que ser calificado nuevamente, para satisfacer dichos cambios.

#### **Requerimientos de pruebas**

- Las probetas de pruebas se fabrican según normas.
- La responsabilidad de la calificación estará a cargo de un Inspector de Soldadura Certificado.
- El fabricante o contratista es responsable de dirigir la calificación de cada soldador.
- El registro de pruebas incluirá las variables esenciales, el tipo de prueba, resultado de pruebas, y el rango de calificación.

#### **Tipos de Pruebas**

- Inspección visual

- Ensayos Mecánicos
  - Ensayo de tracción
  - Ensayo de doblado
- Ensayos no destructivos
  - Ultrasonido
  - Radiográficos

### **Recalificación de soldadores**

- Cuando el periodo de calificación ha expirado (depende de la norma aplicada)
- Cuando el soldador ha dejado de soldar en un periodo de 6 meses (ASME, AWS, ISO)
- Cuando existen pruebas suficientes que cuestionen su trabajo.



*Figura 6.9 Soldador en prueba de calificación*



*Figura 6.10: Después de primer pase*



*Figura 6.11: Falta de Fusión, (Etapa de prueba y regulación)*

Planchas para calificación de procedimientos terminados, luego se procede a trazar y separar probetas para ensayo de dobles y tracción.



*Figura 6.12: Planchas para calificación terminadas*



*Figura 6.13: Aspecto del Cordón de soldadura en plancha*



*Figura 6.14: Probetas ensayadas a doblé de cara y raíz*




*Figura 6.15: Probeta Terminada*


Soldador después de la prueba



**Tabla 6.15 WPQ-06, en modo de transferencia corto circuito (SC) + spray (S)**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C</b>	<b>CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ)</b>		<b>WPQ Nº 006-CS1</b>		
			HOJA:	1 de 1	
			EMISION:	22/12/2008	
			REVISION:	0	
<b>WPQ Nº – 006 – CS1</b>					
<b>QW-484</b>					
Nombre del Soldador : Deusto (puchima Lachuma)		Nro. De Identificación: D I L – DNI Nº: 42171442			
Identificación de WPS :	006	<input checked="" type="checkbox"/> Cupón de prueba	<input type="checkbox"/> Soldadura de producción		
Material base :	SA 240, Gr. 316L	Espesor :	9mm		
<b>CONDICIONES DE PRUEBA Y LÍMITES DE CALIFICACIÓN</b>					
<b>VARIABLES DE SOLDADURA (QW-350)</b>		<b>VALORES ACTUALES</b>	<b>RANGO CALIFICADO</b>		
Proceso(s) de Soldadura		GMAWsc + GMAWs	GMAWsc + GMAWs		
Tipo (p.e. manual, semi-auto) usado		Semiautomática	Semiautomática		
Backing (metal, soldadura de metal, doble soldadura, etc.)		Si	Con Backing		
<input checked="" type="checkbox"/> Plancha <input type="checkbox"/> Tubo (ingrese diámetro si es tubo o barra)		Plancha	Plancha y Tubo ( Ver nota 3)		
Metal Base P-o S-Número para P- o S-Número		PNº8 / PNº8	Ver nota 1		
Tipo de Junta		Ranura	Ranura, todos los filetes (espesores, tamaños y diámetros)		
Deposito de metal o especificación(es) del Electrodo (SFA) (sólo información)		5.9	Ver nota 2		
Deposito de metal o clasificación(es) electrodo (sólo información)		ER- 316L	Ver nota 2		
Deposito de metal F-Número(s)		6	Todos los F Nº 6		
Tipo de depósito (sólido/metal o núcleo fundente/pulvo) (GTAW o PAW)		Alambre Sólido	Alambre Sólido		
Espesores de depósito para cada proceso					
Proceso 1: GMAW mínimo 3 capas <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		9.0 mm	hasta 15.3 mm		
Proceso 2: SMAW mínimo 3 capas <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		No	No		
Posición calificada (2G, 6G, 3F, etc.)		1G	Ver nota 3		
Progresión Vertical(ascendente o descendente)		N.A.	N.A.		
Tipo de Gas Combustible		N.A.	N.A.		
Backing a gas INERTE. (GTAW, PAW, GMAW)		No	No		
Modo de transferencia (spray/ globular o pulso, corto circuito-GMAW.)		Corto circuito + Spray	Corto circuito + Spray		
Tipo/polaridad de Corriente GTAW (AC, DEP, DCEN).		DC (+)	DC (+)		
Nota 1: P Nº 1 hasta P Nº 11 , P Nº 34, P Nº 41 hasta P Nº 49					
Nota 2: Todas las clasificaciones					
Nota 3: Ranura: (F) plancha y tubo >= 24" O.D ; (F) tubo >2 7/8" y < 24" O.D.; Filete: (F) plancha y tubo					
<b>RESULTADOS</b>					
Inspección Visual de Soldadura Completa (QW-302.4): <b>Aceptado</b>					
<input checked="" type="checkbox"/> Prueba de doblez	<input checked="" type="checkbox"/> Cara y Raíz Transversal [QW-462.3(a)]	<input type="checkbox"/> Cara y Raíz Longitudinal [QW-462.3(b)]	<input type="checkbox"/> Lado [QW-462.2]		
<input type="checkbox"/> Espécimen Curvo de barra, recubrimiento corrosión-resistente [QW-462.5(c)]	<input type="checkbox"/> Espécimen Plancha Curva, recubrimiento corrosión-resistente [QW-462.5(d)]	<input type="checkbox"/> Prueba Macro para fusión [QW – 462.5 (b)]	<input type="checkbox"/> Prueba Macro para fusión [QW – 462.5 (e)]		
<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>
Dobleza de Cara	Aceptado				
Dobleza de Raíz	Aceptado				
Resultado de examinación radiográfica alternativa (QW-191)		No			
Soldadura Depositada – Prueba de Fractura (QW-180)	No	Longitud y porcentaje de defectos	No		
Examinación Macro (QW-184) :	No	Tamaño de filete (pulg.):	No	Concavidad/Convexidad (pulg.):	No
Otras Pruebas					
Pruebas mecánicas elaboradas por: TAMA INGENIEROS S.A.C.		Nro. Prueba de Laboratorio: P-03/2008			
Soldadura Supervisada por: R. Johnny Palomino Nolasco					
Nosotros certificamos que las declaraciones en el escrito son correctas y que las pruebas del cupón fueron preparadas, soldadas, y examinadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME 2004.					
Inspeccionado por: Felipe Yañez Coz		Fabricante : TAMA INGENIEROS S.A.C.			
		Por : Ronal Johnny Palomino Nolasco			
		Departamento de Control de Calidad			
Fecha: 22 Diciembre 2008					

**Tabla 6.16 WPQ-07, en modo de transferencia corto circuito (SC)**

 <b>TAMA INGENIEROS S.A.C.</b>	<b>CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ)</b>  <b>WPQ N° - 007 - CS1</b>		WPQ N° 007-CS1	
			HOJA:	1 de 1
			EMISION:	22/12/2008
			REVISION:	0
<b>QW-484</b>				
Nombre del Soldador : Deusto Ipuchima Lachuma		Nro. De Identificación: D I L - DNI N°: 42171442		
Identificación de WPS :	007	<input checked="" type="checkbox"/> Cupón de prueba	<input type="checkbox"/> Soldadura de producción	
Material base :	SA 240, Gr. 316L	Espesor :	9mm	
<b>CONDICIONES DE PRUEBA Y LÍMITES DE CALIFICACIÓN</b>				
<b>VARIABLES DE SOLDADURA (QW-350)</b>		<b>VALORES ACTUALES</b>	<b>RANGO CALIFICADO</b>	
Proceso(s) de Soldadura		GMAWsc	GMAWsc	
Tipo (p.e. manual, semi-auto) usado		Semiautomática	Semiautomática	
Backing (metal, soldadura de metal, doble soldadura, etc.)		Si	Con Backing	
<input checked="" type="checkbox"/> Plancha <input type="checkbox"/> Tubo (ingrese diámetro si es tubo o barra)		Plancha	Plancha y Tubo ( Ver nota 3)	
Metal Base P-o S-Número para P- o S-Número		PN°8 / PN°8	Ver nota 1	
Tipo de Junta		Ranura	Ranura, todos los filetes (espesores, tamaños y diámetros)	
Deposito de metal o especificación(es) del Electrodo (SFA) (sólo información)		5,9	Ver nota 2	
Deposito de metal o clasificación(es) electrodo (sólo información)		ER- 316L	Ver nota 2	
Deposito de metal F-Número(s)		6	Todos los F N° 6	
Tipo de depósito (sólido/metal o núcleo fundente/polvo) (GTAW o PAW)		Alambre Sólido	Alambre Sólido	
Espesores de depósito para cada proceso				
Proceso 1: GMAW mínimo 3 capas <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		9.0 mm	hasta 10 mm	
Proceso 2: SMAW mínimo 3 capas <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		No	No	
Posición calificada (2G, 6G, 3F, etc.).		1G	Ver nota 3	
Progresión Vertical(ascendente o descendente)		N.A.	N.A.	
Tipo de Gas Combustible		N.A.	N.A.	
Backing a gas INERTE. (GTAW, PAW, GMAW)		No	No	
Modo de transferencia (spray/ globular o pulso, corto circuito-GMAW.)		Corto circuito	Corto circuito	
Tipo/polaridad de Corriente GTAW (AC, DEP, DCEN).		DC (+)	DC (+)	
Nota 1: P N° 1 hasta P N° 11 , P N° 34, P N° 41 hasta P N° 49				
Nota 2: Todas las clasificaciones				
Nota 3: Ranura: (F) plancha y tubo >= 24" O.D.; (F) tubo >2 7/8" y < 24" O.D.; Filete: (F) plancha y tubo				
<b>RESULTADOS</b>				
Inspección Visual de Soldadura Completa (QW-302.4): <b>Aceptado</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> Prueba de doblez	<input checked="" type="checkbox"/> Cara y Raíz Transversal [QW-462.3(a)]	<input type="checkbox"/> Cara y Raíz Longitudinal [QW-462.3(b)]	<input type="checkbox"/> Lado [QW-462.2]	
<input type="checkbox"/> Espécimen Curvo de barra, recubrimiento corrosión-resistente [QW-462.5(c)]	<input type="checkbox"/> Espécimen Plancha Curva, recubrimiento corrosión-resistente [QW-462.5(d)]	<input type="checkbox"/> Prueba Macro para fusión [QW - 462.5 (b)]	<input type="checkbox"/> Prueba Macro para fusión [QW - 462.5 (e)]	
<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Resultado</b>
Doblez de Cara	Aceptado			
Doblez de Raíz	Aceptado			
Resultado de examinación radiográfica alternativa (QW-191)		No		
Soldadura Depositada - Prueba de Fractura (QW-180)	No	Longitud y porcentaje de defectos	No	
Examinación Macro (QW-184) :	No	Tamaño de filete (pulg.):	No	Concavidad/Convexidad (pulg.): No
Otras Pruebas				
Pruebas mecánicas elaboradas por: TAMA INGENIEROS S.A.C.		Nro. Prueba de Laboratorio:	P-04/2008	
Soldadura Supervisada por: R. Johnny Palomino Nolasco				
Nosotros certificamos que las declaraciones en el escrito son correctas y que las pruebas del cupón fueron preparadas, soldadas, y examinadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME 2004.				
Inspeccionado por: Felipe Yañez Coz		Fabricante : TAMA INGENIEROS S.A.C.		
		Por : Ronal Johnny Palomino Nolasco		
		Departamento de Control de Calidad		
Fecha: 22 Diciembre 2008				

## CAPITULO VII

### ESTIMACIÓN DE COSTOS POR PRUEBA Y CALIFICACIÓN DE PERSONAL

#### 6.1 VALORIZACIÓN POR PRUEBA Y CALIFICACIÓN

COSTO POR IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO ( PRUEBA )		
		Dólares (S\$/.)
Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)		100
Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR)		150
Ensayos de Doblez (2 probetas raíz, 2 probetas cara)	(QW)	120
Ensayos de Tracción (2 probetas)		80
Calificación del Soldador (WPQ)		100
Preparación de Soldador		180
<b>Total:</b>		<b>730</b>

COSTO POR CALIFICACIÓN DE PERSONAL (SOLDADOR)	
	Dólares (S\$/.)
Por Materiales	14
Por Consumibles	5
Tiempo (2-4) horas	9
Supervisión (1-3)horas	6
Ensayo de Doblez	60
Sub-total	94

Solamente si pasa la prueba de doblez	
<b>Certificarlo</b>	100
<b>Total</b>	<b>194</b>

Nota: El costo para la certificación se puede reducir si nos brindan el servicio los proveedores de los consumibles de los metales de aporte, que generalmente hacen este trabajo.

Para formalizar estos documentos debe llevar la firma de un inspector de soldadura certificado –CWI, en la valorización ya se ha incluido dicho costo.

El costo de la preparación puede variar, depende mucho del material y la habilidad del soldador para manejar los parámetros y su secuencia de soldeo.

En nuestro caso nos tomo de una a dos semanas, se empleo material inoxidable, así como varias horas de práctica y asesoramiento teórico y práctico.

Para un proyecto de \$\$/. 64 500

<b>Costo por Implementación</b>	<b>Margen para implementación</b>
Para 2 WPS 1460 dólares	Incluye Materiales , tiempo y ensayos 2000 dólares
Representa un 2.3 % del Proyecto	

## CONCLUSIONES

1. La calificación del procedimiento de soldadura depende del estándar usado y su campo de aplicación. Es decir el empleo de la norma respectiva para el tipo de fabricación a trabajar, por ejemplo si es un tanque de almacenamiento – API650, si son tijerales para un techo – AWS D1.1.etc. Con ello cumpliremos las exigencias para asegurar un estándar de calidad.
2. Cada WPS requiere un documento de respaldo para ser calificado.
3. Una norma técnica no debe perder el carácter práctico. Es decir que deben ser factibles de realizar los procedimientos y requerimientos acorde con el proceso de fabricación.
4. El criterio del responsable es fundamental. Quiere decir que durante la fabricación cualquier dificultad, defecto o corrección que haya que realizar. Este lo hará, dentro de la tolerancia permisible en la norma. Asesorando y respaldando los procedimientos en base a su experiencia y conocimiento.

5. Todos los trabajos en acero inoxidable, requieren una impecable manipulación y limpieza a fin de no reflejar daño superficial y evitar la contaminación con el acero al carbono.

## **RECOMENDACIONES**

1. Para cada nuevo procedimiento se requiere información teórico y técnico del material a trabajar.
2. Para un nuevo material se recomienda solicitar la ficha técnica por parte del proveedor. Así como la prestación de consultas en caso amerite el uso de otros materiales, que permita detallarle su aplicación.
3. Se recomienda para la calificación brindar al personal una capacitación u/o charla que permita brindarle el conocimiento y cuidado de los materiales involucrados para su calificación a fin de concientizar el procedimiento de trabajo.
4. Se recomienda para el desarrollo de procedimientos de soldadura identificar la norma de fabricación, luego adjuntar la información del material base y del tentativo material de aporte acorde con el proceso de soldadura. Antes de la calificación entrenar al soldador.
5. Para la calificación del soldador se recomienda que la posición de soldadura cubra las posiciones del proceso de producción.
6. Se recomienda trabajar en ambientes separados las fabricaciones de acero inoxidable de las de acero al carbono, así como contar con herramientas solo para uso en acero inoxidable. Con el fin de evitar la contaminación con el hierro.

## BIBLIOGRAFÍA

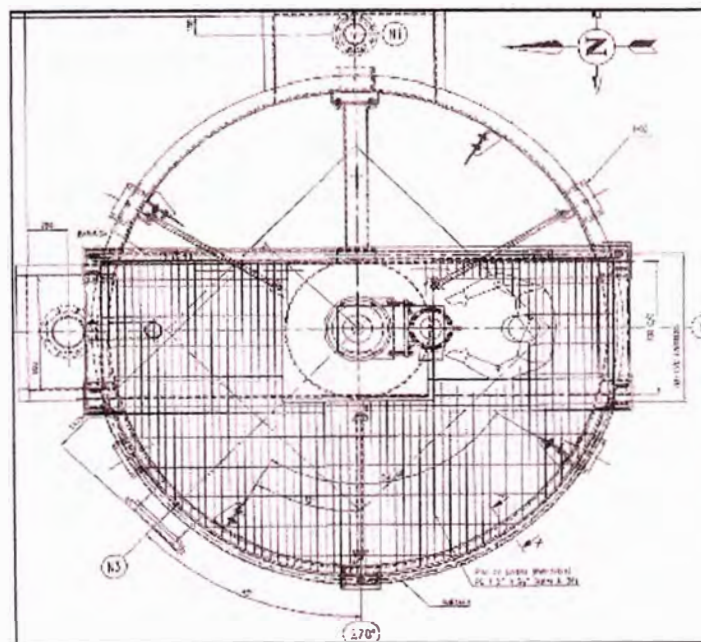
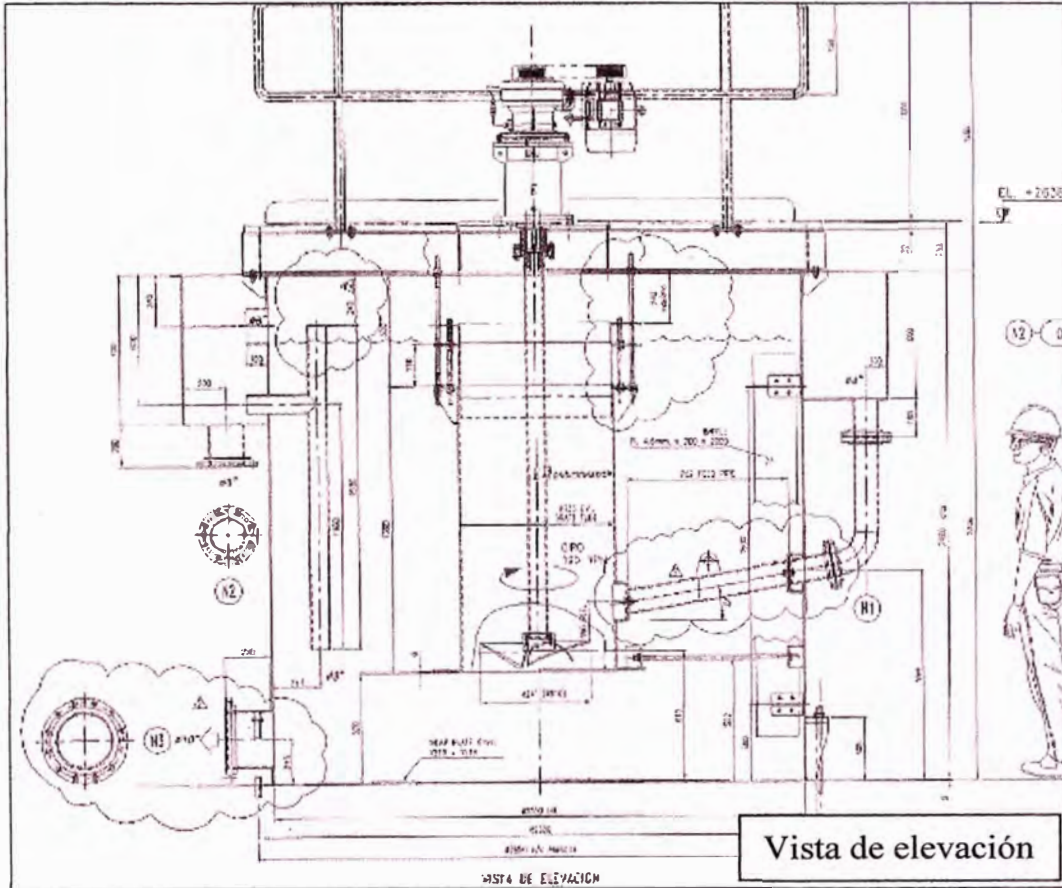
1. Documentación de Secuencia de Soldeo, Simposio 2009-SOLDEXA. Lima-Perú- Por: Ing. Juan Guardia G.-CWI.
2. Documentación de Calificación de Soldadores y Procedimientos de Soldadura. Conferencia 2002 - Empresa Plasma, Lima Perú.
3. Manual de Soldadura Oerlikon edición 2008, Exsa-Perú
4. Germán Hernández Riesco, Manual del Soldador, edición 2008-España
5. Norma API 650, Edición 2004 –United States of America
6. Norma ASME Sección IX, Edición 2006- United States of America
7. Información técnica del proyecto para fabricación de tanques inoxidables, por parte de la empresa TAMA SAC.
8. Curso General de la Tecnología del Soldeo. Fondo de Formación CESOL. Módulos 1 y 2. 1994.
9. Di Caprio, Los Aceros Inoxidables, 1985
10. Documentación del curso “Especialista Europeo de Soldadura”. Modulo 1 y 2 CESOL. 1995.



**PLANOS**

# PLANOS

## PLANO MODELO DE ACONDICIONADOR DE MINERALES



# **ANEXOS**

## ANEXOS

### DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Se realizo en función del Sistema de Gestión de Calidad.

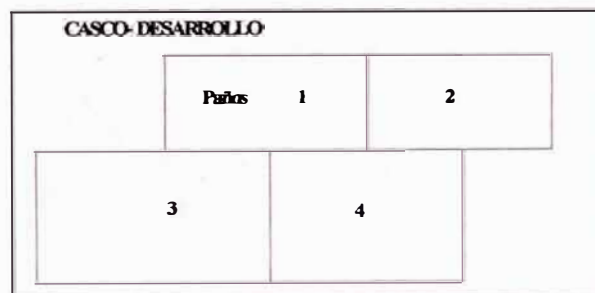
#### 1. RECEPCIÓN DE MATERIALES



*Se recepciono bridas, planchas, tubos SCH40, etc en material inoxidable 316L*

#### 2. HABILITADO

*Fondo de tanque, rolado de platinas, desarrollo de paños*



*Desarrollo de paños para casco del tanque*

### 3. ARMADO

#### Armado del Cuerpo del tanque agitador



*Se recubrió con periódico para protegerlo temporalmente de la contaminación con el acero al carbono, y evitar el contacto directo con el suelo, aminorando la limpieza..*



*Elementos internos del agitador, se muestra el tubo de aireación, así como la conexión interna del tubo de alimentación, todos ellos luego pasan por el proceso de lavado y pasivado, para descontaminarlo de residuos de*

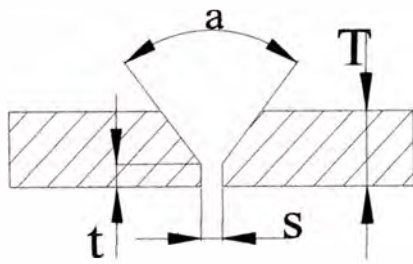
Colocación de arriostres para contrarrestar deformación



Colocación de anillo y refuerzo en la parte superior

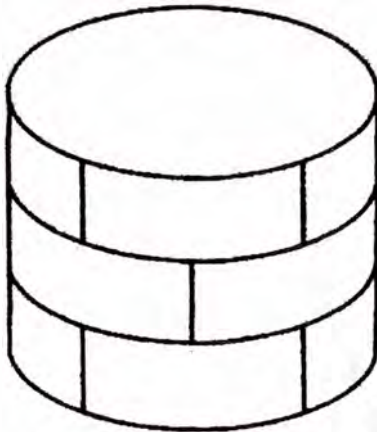


## 5. SOLDADURA

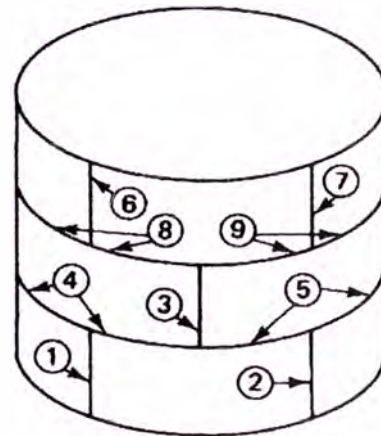


$a: 70 \pm 5$   
 $T: 1.5-15\text{mm}$   
 $t: 1.5-3\text{ mm}$   
 $S: 1.5 - 3\text{mm}$

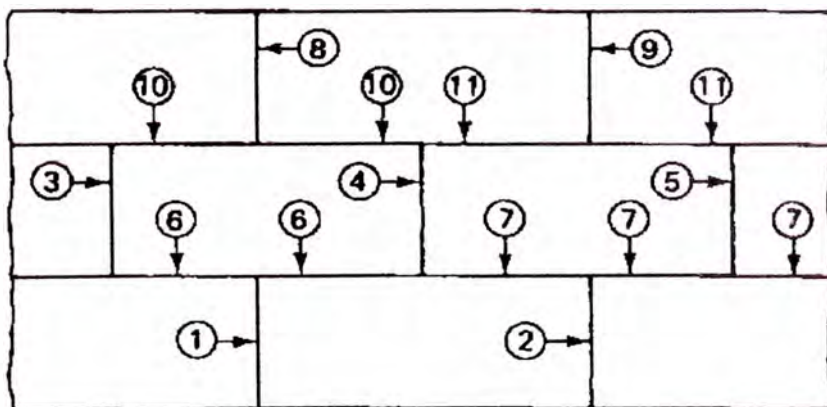
SECUENCIA DE SOLDEO



SECUENCIA DE SOLDEO



SECUENCIA DE SOLDEO



## 6. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

### Prueba de Estanqueidad del Tanque Agitador

Se realiza una vez limpia la parte interna y externa, luego se hermetiza al tanque tapando las salidas de descarga, después se lo suspende en altura (necesario para revisar el fondo-0.75mts.), se realiza el llenado del tanque, manteniéndolo lleno por 12 horas, luego se revisa para ver si no hay filtraciones en la soldadura, si la hay se repara.



### Presentación de Parrillas y barandas en Tanque Acondicionador

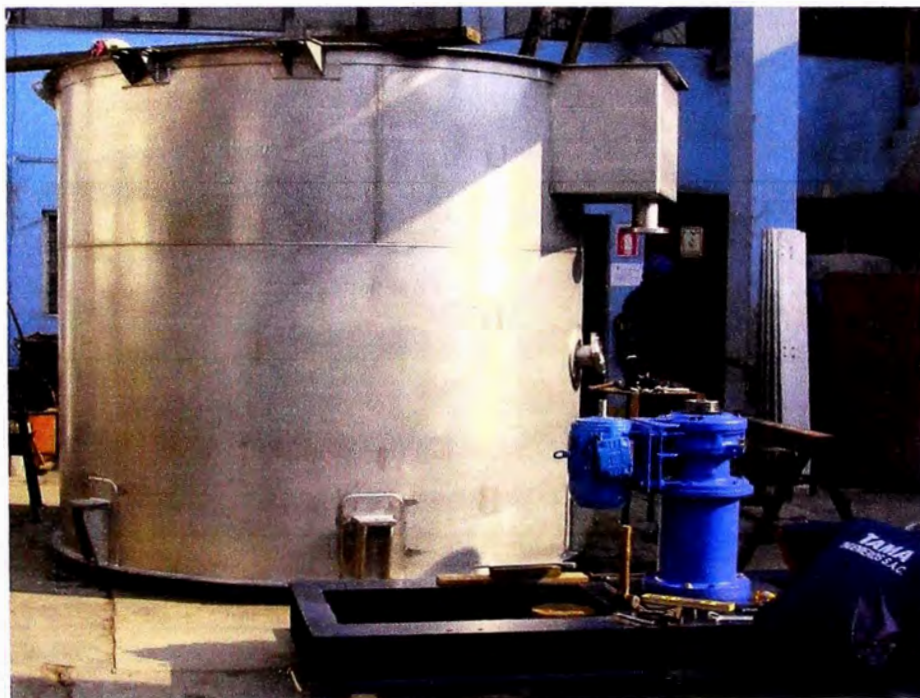


Antes de izar los elementos se presenta (armado) las barandas, parrillas y puente soporte de agitador a nivel del suelo para definir posición de agujeros y puntos de sujeción de parrillas, allí se termina de perforar los últimos agujeros en la plataforma así como ajustar soportes de barandas.



***Puesta de motorreductor en puente (soporte de agitador)***

*Se verifica encaje entre agujeros de plancha base con motorreductor y la orientación del motor eléctrico*



*Se aprovecho en esta etapa la prueba en vacío del motorreductor*



Prueba en vacío del Tanque Acondicionador

## 7. LIMPIEZA Y ACABADO

### Pasivado de Tanque Acondicionador



En esta etapa se realizo la limpieza y pasivado de la parte exterior del tanque.

Como se puede apreciar el tanque lleva unos cajones en la parte superior que sirven como alimentación y descarga del fluido motivo por el cual se hizo más tedioso su limpieza.



*En esta parte se aprovecho en realizar la prueba al tanque de lado derecho y la respectiva limpieza y pasivado del tanque del lado izquierdo.*

Eje Agitador



## 8. EMBALAJE Y DESPACHO



Embalaje de Tanque Acondicionador

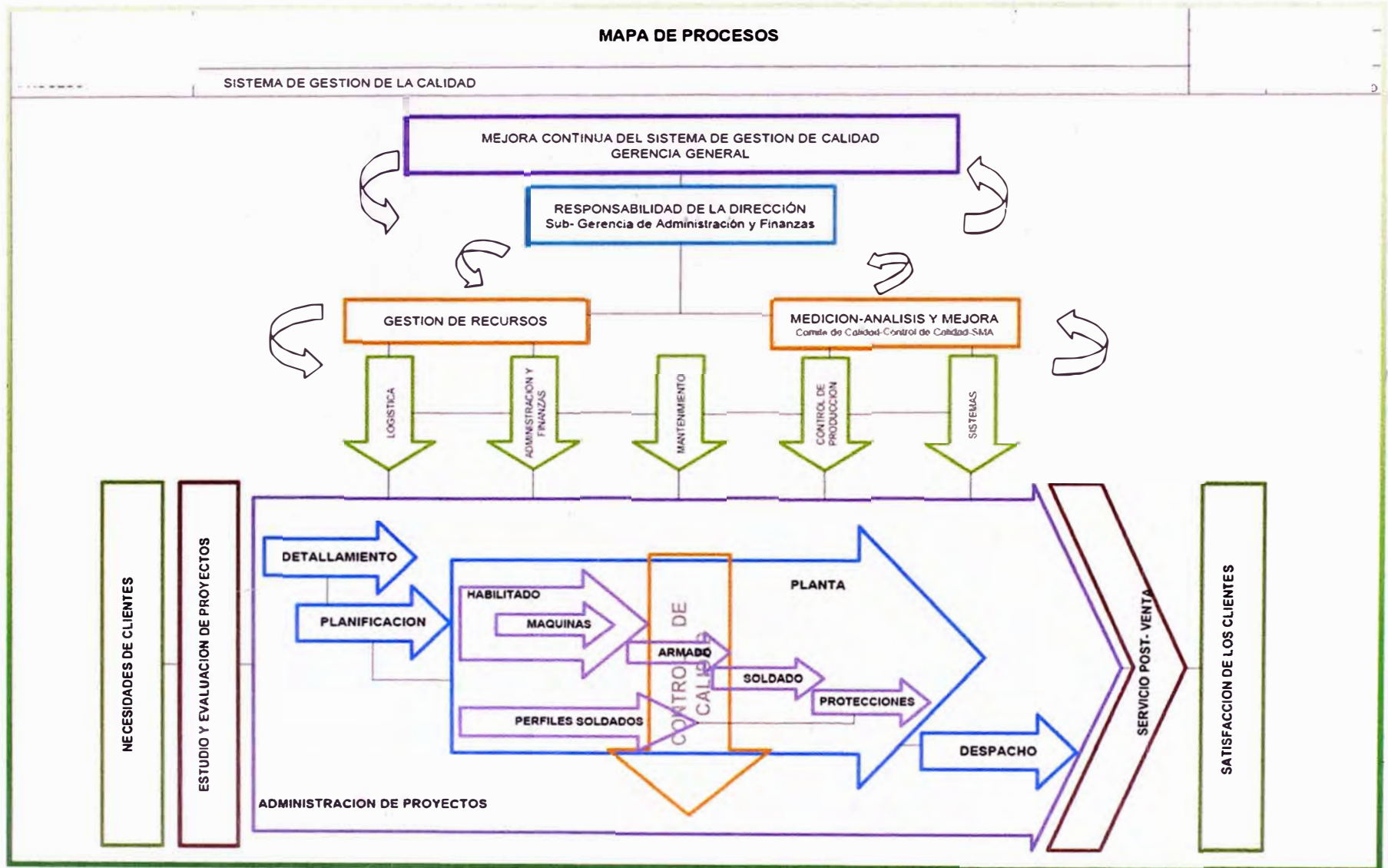
*(Previa identificación de placa y datos técnicos del tanque)*



Despacho de Tanques Acondicionadores



# DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION

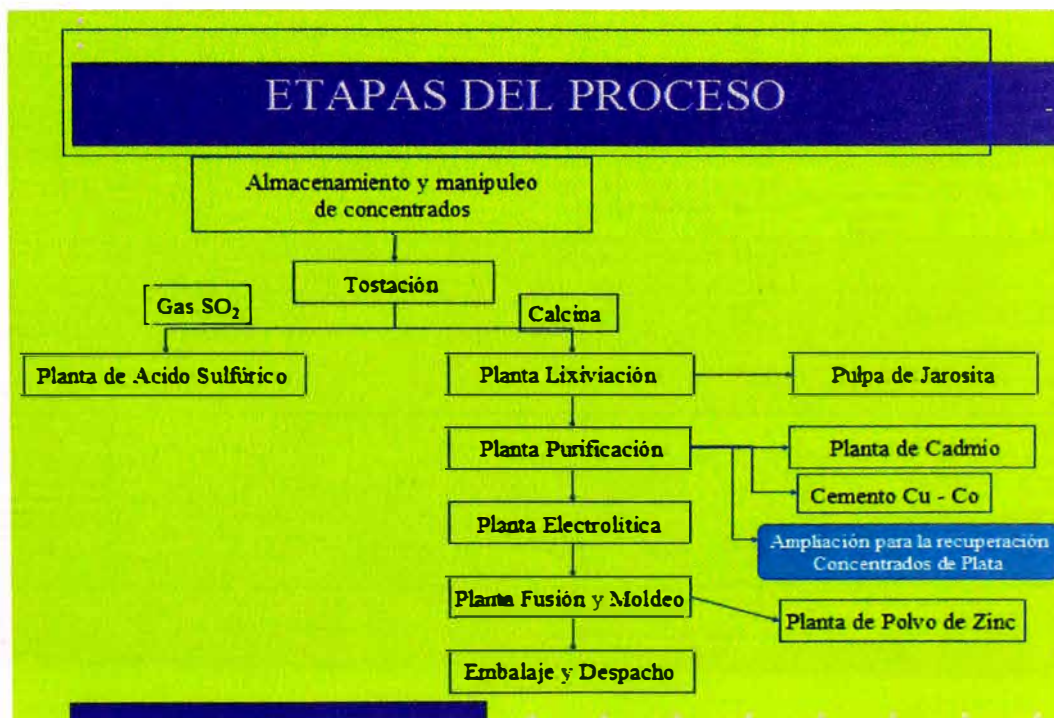


## NUESTRO CLIENTE FINAL:

El Cliente final que va recibir el trabajo es la Refinería de Cajamarquilla. El cual está Ubicada en la quebrada de Cajamarquilla en el distrito de Lurigancho- Chosica, a la altura del Km. 9.5 de la carretera central en el desvío al Puente Huachipa.



Su planta Procesa principalmente concentrados de Zinc, y otros metales en menor escala, gracias a la ampliación que va realizar esta va poder recuperar concentrados de plata.



Como Vemos en el siguiente cuadro en la planta de Cajamarquilla se obtienen como subproductos concentrados de plata, por ello la necesidad de ampliar el área de flotación para la recuperación del mismo.

<b>4.1 PRODUCTOS Y SUB-PRODUCTOS</b>	
<b>PRODUCTOS:</b>	<b>PROD. 2001</b>
• ZINC , CALIDAD SHG 99.99%	121,400 TM
• ALEACIONES Al/Pb CALIDAD ASTM B-240, JIS-H-2201	22,780 TM
• ACIDO SULFURICO , CALIDAD GRADO B 98.3%	223,440 TM
• CADMIO DE ALTA PUREZA 99.97%	319 TM
<b>SUB-PRODUCTOS</b>	
• CEMENTO DE Cu-Co , 56% de Cu	1,829 TM
• CONCENTRADO DE PLATA, 413 oz/TC	1,351 TM

### ***VISTA PANORAMICA DE LA PLANTA DE CAJAMARQUILLA***







***COMPLEJO DE CONCENTRADOS CADMIO Y OTROS***



***PLANTA DE CAJAMARQUILLA***