

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



ELABORACION Y CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA UN ACERO TEMPLADO Y REVENIDO CON LA DESIGNACIÓN SUMITEN 780S

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

FERNANDO GASTON PAREDES HUAMANCHUMO

ASESOR:

ING. OVER ALIAGA INGARUCA

LIMA – PERU

2013

DEDICATORIA

ESTE TRABAJO LO DEDICO A MIS PADRES MERCEDES Y ANDRES POR SU INCONDICIONAL APOYO Y TAMBIÉN A MI QUERIDA ESPOSA ERIKA POR SU PACIENCIA, BONDA Y SU GRAN CARIÑO.

INDICE

INTRODUCCION.....	11
OBJETIVOS	12
CAPITULO I	13
DESCRIPCIÓN DEL METAL BASE Y METAL DE APORTE.....	13
1.1 Acero con designación Sumiten 780S.....	13
1.2 Composición Química.....	13
1.3 Propiedades Mecánicas	14
1.4 Materiales Equivalentes.....	14
1.5 Aplicación y Propiedades de Metales de Aporte Seleccionados	15
1.5.1 Superarc L-100	15
1.5.2 OP121TTW	16
CAPITULO II	19
FUNDAMENTO TEORICO.....	19
2.1 Acero HSLA.....	19
2.2 Cristalografía de Aceros HSLA.....	20
2.3 Temperatura de Precalentamiento	21
2.4 Templado y Revenido.....	22
2.5 Medios de Temple	23
2.5.1. Agua.....	23
2.5.2 Aceite	23
2.5.3 Mezclas agua / aceite	24
2.6 Revenido.....	25
2.7 Soldabilidad de aceros Templados Revenidos.....	26
2.8 Fisuración en Frio	28
2.9 Fisuración Inducida por Hidrógeno.....	28
2.10 Procesos de Soldeo y Consumibles	30

2.11 Propiedades del cordón de soldadura	31
2.12 Secuencia de Soldeo	33
2.12.1 Pase de Raíz.....	33
2.12.2 Pasadas de relleno	34
2.13 Recomendaciones sobre la introducción de hidrógeno	36
2.14 Velocidad de Enfriamiento de la Soldadura.....	36
CAPITULO III	38
ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	38
3.1 Procedimiento de Soldadura según ASME SECCION IX.....	38
3.2 Variables del Procedimiento de Soldadura.....	39
3.3 Determinacion de la Temperatura de Pre calentamiento	54
3.4 Formula de Carbono Equivalente (CE_{AWS}).....	54
3.5 Composición Química del Acero.....	54
3.6 Diagrama de Graville	54
CAPITULO IV	61
CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	61
4.1 Calificación	61
4.2 Ensayo de Tensión de Sección Reducida	61
4.3 Dimensiones de Probetas de Ensayo de Tensión de Sección Reducida	62
4.4 Notas Generales.....	63
4.5 Criterios de Aceptación.....	63
4.6 Prueba de Dobles Guiado	64
4.7 Doblado Transversal Lateral.....	64
4.8 Criterios de Aceptación de Prueba de Dobles Guiado	66
4.9 Prueba de Tenacidad de Muesca.....	66
A: Línea central de soldadura, sobre la línea central de la probeta.....	68
4.10 Criterios de Aceptación de Prueba de Tenacidad	68
4.11 Análisis Macrográfico.....	68
4.12 Prueba de Dureza.....	68

4.13 Dimensiones de las Probetas a Ensayar	69
4.14 Resultados Obtenidos de Pruebas	72
4.14.1 Resultados de la prueba de Sección Reducida	72
4.14.2 Resultado de Prueba de Dobles Guiado.....	73
4.14.3 Resultado de Prueba de Impacto.....	74
4.14.4 Resultado de la prueba de Dureza	76
4.15 Análisis de resultados	80
4.16 Discusión de los Resultados.....	81
4.17 Elaboración del Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura	81
CAPITULO V	90
ANALISIS DE COSTOS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA	90
5.1 Costos de Soldeo	90
5.2 Elementos de los Costos de Soldeo.....	91
5.3 Costos de la Mano de Obra.....	92
5.4 Costos de los Materiales.....	93
5.5 Gastos generales.....	94
5.6 Factor de Operación	94
CONCLUSIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Rango de composición química del acero SUMITEN 780S.....	14
Tabla 1. 2: Propiedades Mecánicas del acero SUMITEN 780S.....	14
Tabla 1. 3: Aceros equivalentes al acero Sumiten 780S.....	15
Tabla 1. 4: Composición Química del metal de Aporte Superarc L-100	16
Tabla 1. 5: Composición química del fundente OP121TTW	17
Tabla 1. 6: Análisis Granulométrico del fundente OP121TTW.....	17
Tabla 1. 7: Composición química del alambre solido.....	18
Tabla 2. 1: Tratamiento Térmico para típicos Aceros Templados y Revenidos	24
Tabla 3. 1: Variables esenciales y esenciales suplementarias para el proceso SAW ..	40
Tabla 3. 2: Variables esenciales y esenciales suplementarias para el procs GMAW ...	41
Tabla 3. 3: Composición química de la muestr de acero con desig SUMITEN 780S ..	54
Tabla 3. 4: Calculo de la temperatura de Pre calentamiento	56
Tabla 3. 5: Temperaturas de Pre calentamiento (°C) y de interpase minima para diferentes condiciones según Codigo AWS D1.1M 2010.....	56
Tabla 4. 1: Requerimientos de prueba de Tenacidad de Muesca.....	68
Tabla 4. 2: Resultados de la pruebas de sección reducida para proceso SAW.....	72
Tabla 4. 3: Resultados de la pruebas de sección reducida para proceso GMAW	73
Tabla 4. 4: Resultados de la pruebas de dobles Guiado para proceso SAW	73
Tabla 4. 5: Resultados de la pruebas de dobles Guiado para proceso GMAW	74
Tabla 4. 6: Resultados de la pruebas de Impacto para proceso SAW.....	74
Tabla 4. 7: Resultados de la pruebas de Impacto para proceso GMAW	75
Tabla 4. 8: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso SAW-Muestra 1	76
Tabla 4. 9: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso SAW-Muestra 2.....	77
Tabla 4. 10: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso GMAW-Muestra 1	78
Tabla 4. 11: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso GMAW-Muestra 2	79
Tabla 4. 12: Parámetros De Soldadura.....	85
Tabla 4. 13: Parámetros de Soldadura.....	89
Tabla 5. 1: Rendimiento de deposición	93
Tabla 5. 2: Factor de Operación.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Comparativo de Microestructuras de un acero al C y un acero HSLA.....	21
Figura 2. 2: Variación de Propiedades Mecánicas por tratamie térmico de Reveni.....	26
Figura 2. 3: Variación de propiedades mecánicas por tratamiento Térmico de Reve...	27
Figura 2. 4: Tenacidad Para tres tipos de acero relativa a su contenido de S.....	32
Figura 2. 5: Secuencia de Soldeo en Unión en “X”	35
Figura 2. 6: Comparativo de Perfil de dureza.....	35
Figura 3. 1: Diagrama de Graville.....	55
Figura 4. 1: Medidas del espécimen de Sección Reducida.....	63
Figura 4. 2: Medidas para determinar el espécimen de dobles de Lado.....	65
Figura 4. 4: Áreas de donde se extraerá las probetas de Impacto.....	67
Figura 4. 3: Medidas de punzón de Dobles Guiado	67
Figura 4. 5 : Puntos de evaluación de Dureza	69
Figura 4. 6: Distribución de probetas dentro del cupón soldado	70
Figura 4. 8: Dimensiones de probeta de Dobles de Lado	71
Figura 4. 7: Dimensiones de probeta de Sección Reducida	71
Figura 4. 9: Dimensión de Probeta de Impacto	72
Figura 4. 10: Variación de dureza en Muestra N° 1 – Proceso SAW	76
Figura 4. 11: : Variación de dureza en Muestra N° 2 – Proceso SAW	77
Figura 4. 12: Variación de dureza en Muestra N° 1 – Proceso GMAW.....	78
Figura 4. 13: Variación de dureza en Muestra N° 2 – Proceso GMAW.....	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3. 1 : Especificación de Procedimiento de soldadura por Proceso SAW	57
Cuadro 3. 2: Especificación de Procedimiento de Soldadura por proceso GMAW.....	59
Cuadro 4. 1: Regist de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) – SAW	82
Cuadro 4. 2: Regist de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR)-GMAW....	86

NOMENCLATURA

UNIDAD	SIMBOLO
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Newton	N
Pulgada	in
Joule	J
Pascal	Pa
Kilogramo	kg
Gramo	g
Mega	M
Hora	h
Minutos	min
Segundo	s
Litro	l
Amperio	A
Porcentaje	%
Tiempo	t
Centígrado	C
Temperatura	T
Dólar	\$

RESUMEN

Este trabajo describe las secuencias que se siguen en la elaboración y calificación de un Procedimiento de Soldadura para planchas de acero de alta resistencia a la fluencia utilizado para la fabricación de tubería forzada Penstock que se utilizan para la construcción de una central hidroeléctrica.

Se elaboraron procedimientos de soldadura **SAW** y **GMAW** usando el código **ASME IX 2010** y las recomendaciones del fabricante **SUMITOMO METAL STEEL** como referencia para la calificación del procedimiento de soldadura; para lo cual se realizaron ensayos destructivos que aseguran la sanidad de la junta soldada y del metal base, y se garantiza superar la fisuración inducida por el hidrogeno de manera que con las temperaturas de precalentamiento y postcalentamiento establecidas son suficientes para evitar problemas de fisuración en planchas de acero fabricado por el método convencional de templado y revenido. Haciendo uso de la composición y otros parámetros se determino las temperaturas de precalentamiento y de interpase y se verifico si es que los valores obtenidos presentan similitud con los recomendados por el fabricante del acero.

ABSTRACT

This paper describes the sequences followed in the development and qualification of a welding procedure for steel sheet high yield strength used for the manufacture of Penstock used for the construction of a hydroelectric plant.

Procedures were developed SAW and GMAW welding using ASME IX 2010 and the manufacturer's recommendations as a reference SUMITOMO METAL STEEL for welding procedure qualification , for which destructive testing to ensure the health of the weld metal and basis , and is guaranteed overcome hydrogen induced cracking so that the preheat and post-heat temperatures set are enough to avoid problems of cracking steel plates manufactured by conventional quenching and tempering . Making use of the composition and other parameters are determined temperatures preheat and interpass and verified if the values obtained have similarity with those recommended by the manufacturer of the steel.

INTRODUCCION

En los últimos años el control de Calidad de las fabricaciones ha llegado a ser más estricto en la mayoría de proyectos metalmecánicos de las diferentes industrias de nuestro país. Teniendo en cuenta lo indicado, actualmente el primer paso antes de inicio de las fabricaciones es la elaboración y calificación de procedimientos de soldadura que garanticen que la unión soldada se encuentre libre de defectos que podrían causar el colapso de las fabricaciones evitando de esta manera la pérdida de vidas humanas o destrucción de áreas contiguas.

Un ejemplo típico es el fracaso catastrófico de la tubería de carga (Longitud de 2.640 m, la presión hidrostática de 864 m), se produjo en 1973 años durante la prueba de presión en una de sus tuberías en la planta de energía hidroeléctrica "Santa Isabel" en Bolivia. La falla se produjo a 735m de presión. Chorro de agua paso a través de orificio de 1 m de longitud y 0,7 m de ancho, y destruyendo la vegetación a lo largo de 130 m, y 10 m de ancho, La tubería fue reparada por nuevos segmentos. Las propiedades mecánicas, determinadas después del colapso, el examen metalográfico reveló que la causa de la falla es la fractura por fragilidad iniciado en la zona afectada por el calor de la junta longitudinal. Se determino que la posible falla se origino en una reparación por soldadura que fue causado por la inadecuada temperatura de precalentamiento.

Considerando que la demanda creciente de energía eléctrica en el Perú ha generado el desarrollo de proyectos de gran construcción de centrales hidroeléctricas con el objetivo de cumplir con la demanda del mercado, trayendo consigo la construcción de centrales cada vez más grandes, para lo cual se utiliza aceros de alto limite elástico (690 MPa) con la finalidad de reducir los costos de fabricación, los costos de transporte y el periodo de fabricación debido a la disminución del espesor de pared. Siendo una buena alternativa para los diseñadores el uso de aceros HSLA en las fabricaciones.

El presente informe trata la secuencia para la elaboración y calificación de dos procedimientos de soldadura aplicados a un acero SUMITEN 780S el cual es acero de alto esfuerzo y baja aleación, con una resistencia a la tracción mínima de 780MPa para ser usada en la fabricación de tuberías forzadas Penstock.

OBJETIVOS

1. Obtener el título de ingeniero Metalurgista por medio del informe de suficiencia que trata de mostrar que código ASME SECCION IX es uno de los códigos recomendables para elaborar procedimientos de soldadura para el acero con designación SUMITEN 780S el cual no es un acero listado en el código de referencia.
2. Mostrar la secuencia de la elaboración, calificación y análisis de los resultados de los procedimientos de soldadura (WPS) aplicados a planchas de acero con designación SUMITEN 780S utilizado para la fabricación de Tubería Forzadas Penstock.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL METAL BASE Y METAL DE APORTE

1.1 Acero con designación Sumiten 780S

El acero SUMITEN 780S es un acero HSLA que presenta una resistencia a la tensión mínima de 780MPa y buena resistencia al impacto, sus buenas propiedades se deben al templado y revenido sometido durante su fabricación.

SUMITOMO METAL STEEL es la empresa de origen Japones que ha fabricado este acero de grado HT780 aplicado para la fabricación de tanques a presión y tubería forzada Penstock, el valor de carbono equivalente del acero SUMITEN 780S supera el valor de 0.53 por lo tanto tiene un riesgo de fisuración en frio en la ZAC.

1.2 Composición Química

Composición química en el análisis de colada para chapa de acero de SUMITEN780S será de acuerdo a la **Tabla 1.1** para espesores de 6 – 50mm.

Tabla 1. 1: Rango de composición química del acero SUMITEN 780S

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Mo	%V	%B	%Ceq
≤0.18	≤ 0.55	≤ 1.50	≤ 0.025	≤ 0.015	≤0.50	≤1.20	0.10 - 0.60	≤0.10	≤0.005	≤0.53

1.3 Propiedades Mecánicas

Tabla 1. 2: Propiedades Mecánicas del acero SUMITEN 780S

Designación o grado	Limite de fluencia N/mm2		Esfuerzo ce tensión N/mm2		Elongación (%)
	50mm o menor espesor	Mayor a 50mm de espesor	50mm o menor espesor	Mayor a 50mm de espesor	
HT780	685min	665min	780 to 930	760 to 910	24 min

1.4 Materiales Equivalentes

En la siguiente **Tabla 1.3** se muestra la equivalencia del material en diferentes estandares internacionales.

Tabla 1. 3: Aceros equivalentes al acero Sumiten 780S

GRADO	SUMITOMO ESTANDAR	JIS	ASTM	BS EN
HT780	SUMITEN 780(TMC) SUMITEN 780S	G3128 SHY685 G3128SHY685N G3128SHY685S	A517 Gr. B A517 Gr. F	10137-2 S690Q

1.5 Aplicación y Propiedades de Metales de Aporte Seleccionados

1.5.1 Superarc L-100

Electrodo capaz de producir soldaduras con 690 MPa (100 ksi) de Resistencia a la tracción. Excelente para la soldadura de aceros templados y revenidos.

Composición química de este hilo MIG se caracteriza por ser bajo en carbono, alto manganeso, alto silicio, 1,87% de níquel y 0,35% de molibdeno.

Proporciona una mejora en la velocidad de alimentación y la estabilidad del arco, es posible soldar en transferencia cortocircuito, globular, spray y la transferencia de pulsada spray.

Tabla 1. 4: Composición Química del metal de Aporte Superarc L-100

%C	%Mn	%Si	%Ni	%Mo	%Cr	%S	%P	%V	%Al	%Ti	%Zr	%Cu
0.05- 0.06	1.63- 1.69	0.46- 0.50	1.88- 1.96	0.43- 0.45	0.04- 0.06	0.002- 0.005	0.005- 0.009	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03- 0.04	≤ 0.01	0.11- 0.14

1.5.2 OP121TTW

Flux básico aglomerado de arco sumergido apropiado para la soldadura de aceros estructurales y de grano fino no aleados o débilmente aleados que requieran soldaduras de alta calidad y altos valores de impacto a bajas temperaturas incluyendo propiedades de fractura CTOD, se recomienda para aplicaciones que requieran una muy baja concentración de fósforo y azufre en el metal de soldadura.

Puede ser utilizado con una amplia gama de hilos de arco sumergido Oerlikon. Este flux está especialmente recomendado para la soldadura de componentes con espesores elevados en la industria Off-shore, nuclear, petroquímica y calderería pesada.

El comportamiento neutro del flux respecto al silicio y al manganeso le permite poder ser usado con una amplia gama de hilos, incluso en tándem y en soldadura multicátodo. Se caracteriza por un arco muy estable durante la soldadura con un excelente desescoriado el cual en la mayoría de los casos se realiza por contracción. La soldadura presenta muy buen aspecto de cordón exento de mordeduras con superficie regular. Puede ser utilizado en AC y DC con un solo hilo, tandem y sistemas multihilos con amperajes de hasta 1000 A.

Tabla 1. 5: Composición química del fundente OP121TTW

MnO	TiO ₂	CaO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃
0.79	0.12	7.35	24.69	0.56
SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	
13.08	19.75	29.36	0.005	

Tabla 1. 6: Análisis Granulométrico del fundente OP121TTW

Tamaño de Grano(%)				
< 0.35	0.35 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 1.6	> 1.6
1.3	20	46.3	30.8	1.6

Tabla 1. 7: Composición química del alambre solido

C	S	Mn	P	S	Cr
0.13	0.19	1.52	0.011	0.007	0.66
Mo	Ni	Al	V	Ti	Cu
0.54	2.43	0.009	0.001	0.000	0.07

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Acero HSLA

La extensa familia de aceros designados como HSLA -High Strength Low Alloy- surge como respuesta a la necesidad de disponer de materiales de alta resistencia mecánica y, al mismo tiempo, una adecuada soldabilidad. Se caracterizan, en primer lugar, por presentar propiedades mecánicas, y en ocasiones contra la corrosión, muy superiores a las obtenidas con los aceros al C y C-Mn convencionales.

La resistencia mecánica de un acero puede mejorarse, como sabemos, a través de dos caminos:

- a.- Incrementando su contenido en C.
- b.- Aumentando decididamente su contenido de elementos de aleación.

Ambas opciones elevan el carbono equivalente y perjudican notablemente la facilidad para su soldadura. El fin perseguido en la fabricación de las familias de aceros que vamos a desarrollar es conseguir, con un contenido pequeño o medio de C, una adecuada combinación de propiedades de resistencia mecánica, resistencia

a la corrosión, tenacidad y soldabilidad, no alcanzables por los aceros al carbono y al C-Mn.

2.2 Cristalografía de Aceros HSLA

Por una parte era necesario mantener bajos los niveles de C y de elementos de aleación. Por otra, había que encontrar alguna fórmula para aumentar las propiedades mecánicas. El éxito la investigación siderúrgica desarrollada con el objetivo de solucionar el problema llegó con el control del tamaño de grano. Cuanto menor es el tamaño de grano de un acero mayor es la superficie límite de grano por unidad de volumen, constituyendo su rozamiento una barrera efectiva al movimiento intergranular, reforzándose así las características mecánicas del material. Limitar el tamaño de grano supone también un impedimento a la propagación de grietas, por lo que de este modo se mejora también la tenacidad.

Sin embargo el problema no está sólo en obtener en el acero un tamaño de grano pequeño, sino en impedir que éste crezca durante su proceso de fabricación. La laminación en caliente proporciona la temperatura y la acritud necesarias para que se produzca una recristalización y un crecimiento del grano. La manera de impedirlo es mediante el “pinzamiento” de los límites de grano. Ello se logra mediante la acción de finos precipitados, carburos, nitruros y carbonitruros, que interaccionan con los límites de grano, retardando su desplazamiento. Se precisan, por tanto, determinados elementos químicos que formen fácilmente estos precipitados. Como su fracción volumétrica no requiere ser necesariamente grande la adición de estos elementos lo puede ser en porcentajes pequeños.

Estos precipitados, aparte de su función como obstáculo al crecimiento de grano, proporcionan al material un reforzamiento por precipitación, lo que supone una mejora adicional de las propiedades mecánicas.

Los elementos de aleación, añadidos en pequeñas cantidades, conducen a una elevación de la carga de rotura y del límite elástico de la estructura ferrítica, producen su endurecimiento y contribuyen al afino de grano, elevando de esta forma la tenacidad. Los elementos que, en forma de aleantes, más se utilizan en la fabricación de estas familias de aceros HSLA son:

Cr, Ni, Mo, V, Zr, Cu, Ti, Nb, N y P

En la **Figura 2.1** pueden observarse las microestructuras de un acero al C calidad estructural frente a un acero HSLA.

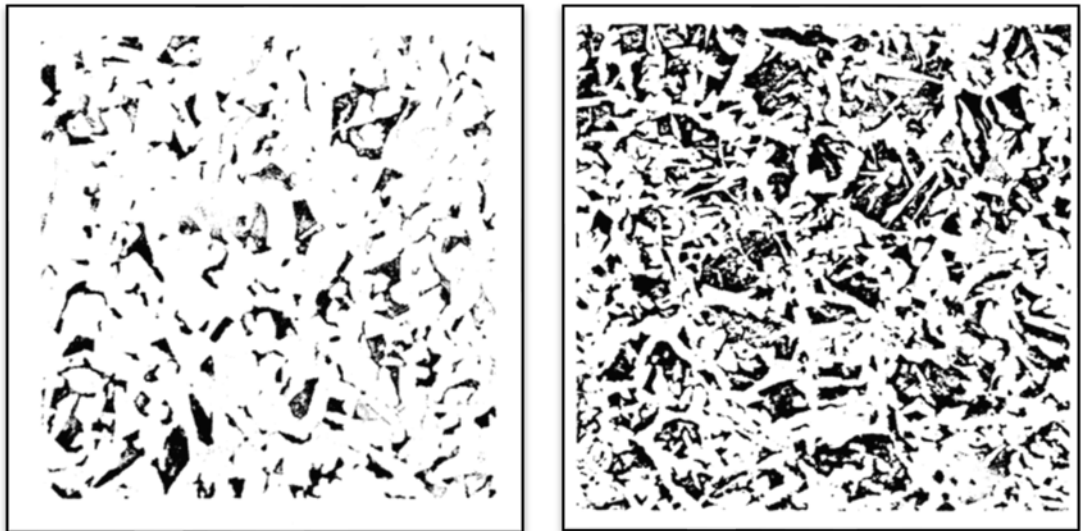


Figura 2. 1: Comparativo de Microestructuras de un acero al C y un acero HSLA

2.3 Temperatura de Pre calentamiento

La soldabilidad de los aceros HSLA requiere similares cuidados a los de los aceros al carbono. Es pues necesario el pre calentamiento de la unión soldada cuando se

exceden las condiciones como el C.E., el nivel de hidrogeno difusible o si se desean unir piezas de espesor grueso.

Una forma de establecer la temperatura de precalentamiento de los aceros HSLA es a través del empleo del método del Control de Hidrogeno, método empleado para aceros templados y revenidos, aceros de baja aleación, aceros de enfriamiento lento.

Los aceros HSLA los clasificaremos en tres grupos:

- Grupo A: Acero normalizado de alto limite elástico
- Grupo B: Aceros normalizados resistente a la corrosión atmosférica
- Grupo C: Aceros templados y revenidos de muy altas características mecánicas

2.4 Templado y Revenido

Las elevadas propiedades mecánicas de estos aceros son consecuencia de la estructura metalúrgica conseguida a través del tratamiento térmico de templado y revenido. Para ello, las chapas de acero son calentadas a una temperatura en donde se consigue una estructura austenítica, con los carburos de estos elementos en disolución. Seguidamente, el acero se enfría por rociado con agua o aceite pulverizados o por inmersión, transformándose la austenita en una estructura mixta de martensita y bainita inferior, que resulta la óptima para sus características mecánicas. En la actualidad se alcanzan límites elásticos en el rango 35-105 Kg/mm² en función de la composición química, espesores y tratamiento térmico.

El templado, cuya misión es conseguir las mencionadas estructuras metalúrgicas, tiene una lógica limitación en el espesor de las piezas por el gradiente de enfriamiento entre la superficie y el núcleo de las chapas, por lo que la composición

química de estos aceros se ajusta en función del espesor previsto para su aplicación, con el objeto de alcanzar las propiedades mecánicas requeridas.

Luego del templado, se procede a un revenido, siendo precisamente la temperatura de revenido la variable que proporciona diferentes propiedades para un acero templado de la misma composición química.

2.5 Medios de Temple

2.5.1. Agua

Cuando se utiliza agua se obtienen altas velocidades de enfriamiento, pero se desarrollan unos elevados gradientes de temperatura entre la superficie y el núcleo de las piezas, que provocan fuertes distorsiones e incrementan el riesgo de grietas. Se utiliza, pues, agua para conseguir el temple en aceros de baja templabilidad y en pequeños espesores.

2.5.2 Aceite

Cuando se utilizan aceites se obtienen menores velocidades de enfriamiento y los gradientes de temperatura entre superficie y núcleo son inferiores, las distorsiones menores y el riesgo de grietas más reducido por estas razones es posible la utilización de aceite para aceros de alta templabilidad y en grandes espesores. Los aceites son de dos tipos:

- Convencionales, sin aditivos que alteren sus características de enfriamiento.
- Rápidos, que en realidad son mezclas de aceites de baja viscosidad con aditivos especialmente desarrollados para proporcionarles rápidas velocidades de enfriamiento.

2.5.3 Mezclas agua / aceite

Un tercer medio templable son las emulsiones agua /aceite, cuyas características varían considerablemente dependiendo de las respectivas concentraciones. El medio templante ideal sería aquel que ofrezca una alta velocidad de enfriamiento inicial y posteriormente una velocidad menor en el rango final de baja temperatura. La **Tabla 2.1** ofrece los medios de temple, las temperaturas de revenido y las estructuras metalúrgicas resultantes de una relación de aceros templados y revenidos.

Tabla 2. 1: Tratamiento Térmico para típicos Aceros Templados y Revenidos

Acero	Temperatura de Austenización °F	Medio de Templado	Temperatura Revenido | °F	Microestructura
ASTM A514, A517	1650	Agua o Aceite	1150	Bainita y Martensita
ASTM A 533 Tipo B	1550	Agua	1100	Bainita y martensita (placa delgada) o ferrita y vainita (placa gruesa)
ASTM A537 Clase 2	1650	Agua	1100	Ferrita y bainita, martensita, o todos los tres
ASTM A543 Tipo B	1650	Agua	1100	Bainita y Martensita
ASTM A678 Grado C	1650	Agua	1100	Ferrita y bainita, martensita, o todos los tres
HY-80, HY-100	1650	Agua	1200	Bainita y Martensita
HY - 130	1500	Agua	1000	Bainita y Martensita

Como en el baño de temple el enfriamiento no es homogéneo en toda la masa y la superficie se enfría antes que el núcleo, la transformación martensítica se producirá con análogo desfase por lo que cuando el núcleo se transforma y trata de dilatarse, se encuentra comprimido por la corona superficial, ya transformada. Esto da lugar a que el núcleo quede comprimido y el anillo superficial expansionado, originándose fuertes tensiones que provocarán deformaciones, si pueden ser resistidas por el acero o, por el contrario, fisuras denominadas «grietas de templado». La martensita es un constituyente extraordinariamente duro y frágil, características que dependen fundamentalmente de su contenido de C y, por tanto, de difícil utilización práctica como tal estructura metalúrgica.

2.6 Revenido

El revenido consigue sus resultados mediante un mecanismo basado en la inestabilidad de los constituyentes del temple. En efecto, un acero templado se encuentra en una condición inestable ya que la transformación natural hacia componentes metalúrgicos de menor energía libre que debería haberse producido se ha impedido de forma brusca y violenta. Por lo tanto, si el acero se calienta después del templado la reacción impedida podrá desarrollarse con mayor o menor dificultad según el nivel de temperatura alcanzado. Se obtienen así unas estructuras metalúrgicas intermedias entre las de templado y las de recocido, que se aproximarán a estas últimas cuanto más elevada sea la temperatura del revenido y mayor el tiempo de permanencia a esa temperatura.

El efecto del tratamiento de revenido sobre las características mecánicas de carga de rotura, límite elástico, estricción, elongación y resiliencia, se observan claramente en la **Figura 2.2** y **Figura 2.3**. Como puede apreciarse, el acero experimenta una

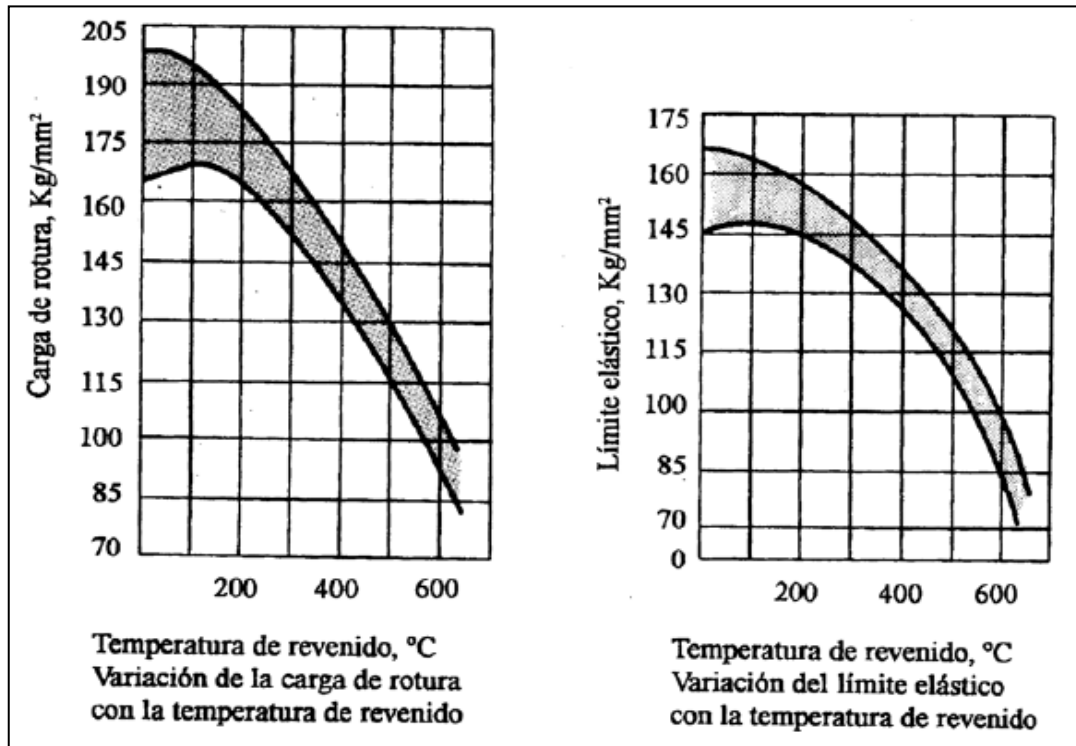


Figura 2. 2: Variación de Propiedades Mecánicas por Tratamiento Térmico de Revenido

disminución de su carga de rotura y límite elástico y una mejora en su ductilidad y tenacidad.

2.7 Soldabilidad de aceros Templados Revenidos

Estos tipos de acero son soldables por arco manual, SMAW, arco sumergido, SAW, o bajo protección de gas, GMAW.

Para obtener unas favorables propiedades mecánicas en la unión soldada los parámetros de soldeo deben adaptarse a la composición química del metal base y al comportamiento de su transformación metalúrgica durante la soldadura. Para ello, hay que seleccionar unas condiciones de soldeo que permitan obtener, tanto en el

metal aportado como en la zona térmicamente afectada, las características mecánicas de diseño, para ello es necesario:

- Aportar un metal con los elementos de aleación necesarios para que sus propiedades mecánicas sean idénticas a las del metal de base.
- Eliminar la posibilidad de introducción de hidrógeno durante la soldadura, para evitar el agrietamiento bajo cordón y en el metal base, por la gran propensión fragilizante que poseen las estructuras martensítica y bainítica inferior.
- Acotar la velocidad de enfriamiento de la junta soldada que no debe ser demasiado elevada para evitar la fisuración del metal depositado ni tan baja para permitir conseguir buenas propiedades mecánicas en la zona afectada térmicamente y en el metal aportado.

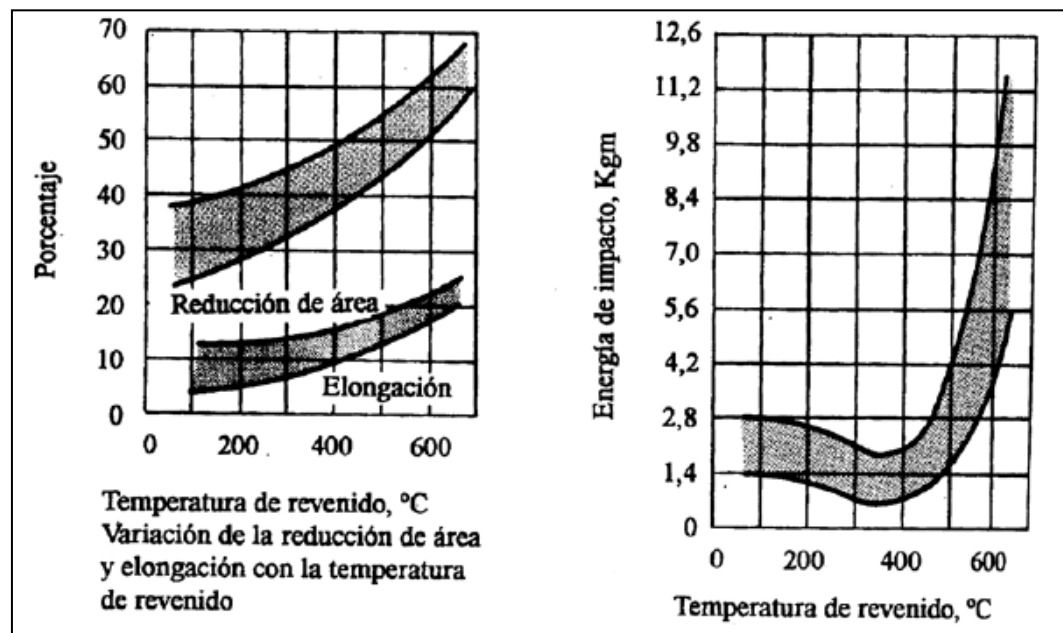


Figura 2. 3: Variación de propiedades mecánicas por tratamiento Térmico de Revenido

2.8 Fisuración en Frío

Este tipo de fisuración se produce cuando el metal soldado se encuentra en proceso de enfriamiento o cuando posteriormente el metal ya está Frío. A diferencia de la Fisuración en Caliente, la Fisuración en Frío se produce a temperaturas generalmente por debajo de los 300 °C.

No hay una sola causa que explique este tipo de fisuración; más bien, son muchos los factores que intervienen en ella. Dentro de Fisuración en Frío se puede distinguir una serie de tipos de fisuración, de acuerdo a los diferentes mecanismos que inducen fragilización y posterior agrietamiento de la unión soldada. Las causas más importantes de la Fisuración en Frío en las uniones soldadas de los aceros al carbono y baja aleación son:

- Fragilización de la ZAC.
- Formación de tensiones residuales en el cordón de soldadura.
- Fragilización Inducida por hidrógeno.
- Fragilización por envejecimiento.

En esta investigación, nos vamos a centrar en la Fisuración Inducida por Hidrógeno, debido a que es la causa de Fisuración en Frío más peligrosa y de mayor influencia en el acero SUMITEN780S.

2.9 Fisuración Inducida por Hidrógeno

Las Fisuras en Frío son defectos que se forman como resultado de la contaminación por hidrógeno de la microestructura en la unión soldada. Mientras que la Fisuración por Solidificación y la Fisuración de la ZAC ocurren durante o inmediatamente

después del proceso de soldadura, la Fisuración Inducida por Hidrógeno es usualmente un fenómeno retardado, pudiendo ocurrir posiblemente semanas o incluso meses después de la operación de soldadura. La temperatura a la que puede ocurrir este defecto esta en el rango de -50 a 150 °C.

La fractura es intergranular o transgranular. Como con otras formas de fisuración, la fisuración Inducida por Hidrógeno involucra una microestructura necesaria y un nivel mínimo de esfuerzos. Esto también envuelve un nivel crítico de hidrógeno que es dependiente de la microestructura y aleación del acero. Si bien, la exclusión del hidrógeno de las estructuras es extremadamente difícil, debido a que la fuente primaria de hidrógeno en el metal de soldadura proviene de la disociación del vapor de agua dentro del arco de soldadura. Así mismo todos los componentes orgánicos contienen hidrógeno en su estructura molecular, y todos pueden ser disociados en el intenso ambiente térmico proveniente de la fuente de calor, desde lubricantes en áreas de montaje hasta aceites impregnados en las manos de los soldadores.

El mecanismo más ampliamente aceptada involucra la presencia de defectos preexistentes en el material, fisuras pequeñas o discontinuidades causadas por inclusiones. Con la aplicación de esfuerzos, estas áreas pueden desarrollar áreas de altas concentraciones de esfuerzos a la tracción biaxiales o triaxiales. El hidrógeno se difunde preferentemente en estas áreas con dilatada microestructura. Como la concentración local de hidrógeno aumenta, la energía y fuerza de cohesión de la microestructura disminuye. Cuando estas fuerzas de cohesión son superadas por los altos niveles de estrés concentrados en estas zonas, la fractura ocurre espontáneamente

Un útil concepto para el entendimiento de la susceptibilidad de los aceros al carbono y aleados a la Fisuración Inducida hidrogeno es el Carbono Equivalente (CE), una relación empírica que apunta a reducir el número de variables significativas que

afectan la soldabilidad de los aceros dentro de una simple cantidad. Numerosas relaciones de CE han sido desarrolladas para diferentes clases de aceros.

Las formulas de Carbono Equivalente son usualmente desarrolladas de amplias bases de datos de concentraciones criticas de hidrógeno y restricciones de las juntas soldadas que resultaran en fisuras inducidas por hidrógeno en el acero. En varios niveles de CE, ciertos requerimientos de precalentamiento son establecidos. Cuando el CE excede 0.35%, precalentamientos son recomendados para minimizar la susceptibilidad a la Fisuración por Hidrógeno. En niveles más altos de CE, tanto precalentamiento y postcalentamiento pueden ser requeridos. Considerando que el CE del acero SUMITEN780S es igual a 0.53 precisa la necesidad de un precalentamiento, control de la temperatura durante el proceso de soldadura y un postcalentamiento para deshidrogenado de la junta soldada. El cálculo de la temperatura de precalentamiento e interfase será visto en la parte experimental de la investigación.

2.10 Procesos de Soldeo y Consumibles

El soldeo de los aceros HSLA puede realizarse mediante los procesos SMAW, GTAW-TIG, GMAW-MIG-MAG o FCAW. Cabe mencionar, también, el soldeo por resistencia, ERW, de chapas y de bobinas en la fabricación de tuberías. Otros procesos no relacionados con el arco eléctrico como el soldeo por fricción y por haz de electrones, se están empezando a utilizar. En la unión de tuberías Forzada es empleado más frecuentemente es el proceso GMAW para soldaduras en instalaciones. Para el soldeo de aceros de alta resistencia se utilizan normalmente consumibles bajos en hidrógeno.

Los consumibles deben seleccionarse para cada aplicación específica de manera que se obtenga una soldadura con las propiedades requeridas y con la adecuada resistencia a la tracción.

El arco sumergido, SAW, es el más empleado para la fabricación de tuberías por soldadura espiral y longitudinal en diámetros superiores a 22". En esta aplicación se utiliza arco sumergido con alimentación simple. La primera pasada se da por el interior de la tubería, seguida de una segunda pasada es depositada por el exterior. La energía aportada en cada pasada depende del espesor de pared.

Los fluxes para el soldeo por arco sumergido, SAW, deben ser capaces de soportar altas densidades de corriente, permitir el soldeo a grandes velocidades y aportar buenas propiedades a la unión soldada. Se utilizan fluxes básicos y aglomerados que permitan el soldeo tanto con corriente continua como con corriente alterna. La escoria con este tipo de fundentes es poco adherente y se elimina con facilidad. El único inconveniente reside, en casos de fluxes aglomerados, con cambios en la composición del flux por pérdidas de finos en el reciclado.

2.11 Propiedades del cordón de soldadura

Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura, especialmente la tenacidad, dependen de la composición química, de la microestructura y del tamaño de grano. La **Figura 2.4** muestra la influencia del contenido de S en la tenacidad de tres tipos de aceros, ampliamente utilizados en la fabricación de tuberías para oleoductos y gasoductos.

Debido a la dilución, asociada a procesos de soldeo de alto aporte energético, los elementos aleantes pueden estar presentes en el cordón en cantidades de hasta el 60-70% de los Niveles contenidos en el metal base y esto puede tener diversas consecuencias de tipo metalúrgico. Por ejemplo, el Nb y el V se combinan con el C

o el N para precipitar como finos carburos, nitruros o carbonitruros. El Nb tiende también a deprimir el crecimiento de la ferrita proeutectoide. La precipitación de carbonitruros incrementa el límite elástico del metal del baño de fusión y esto va, normalmente, en detrimento de la tenacidad.

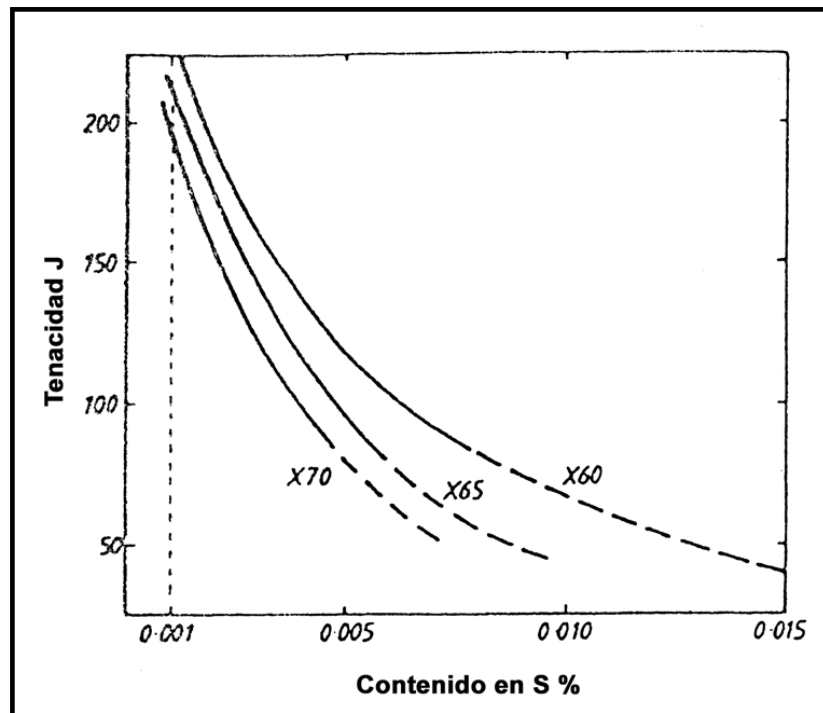


Figura 2. 4: Tenacidad Para tres tipos de acero relativo a su contenido de S

Es importante señalar que la presencia de Mo en el cordón es beneficiosa si el contenido de Nb es menor de 0,025%, mientras que para diluciones mayores contenidos de Nb más altos en el cordón, puede tener un efecto fragilizante.

Las prácticas de desoxidación del metal base influyen en el comportamiento de la unión soldada y las propiedades del cordón. En efecto, algunos procedimientos de

desoxidación pueden afectar la estabilidad del arco, produciendo salpicaduras y porosidad.

El Si desoxida el cordón, reduce el contenido total de inclusiones no metálicas, aumenta la tendencia a formar ferrita acicular y puede provocar ablandamiento. La tenacidad de la unión decrece por encima de ciertos niveles de Si.

La tenacidad del cordón puede afectarse desfavorablemente por un alto contenido de Al en el metal base. El Al altera la naturaleza de las inclusiones no metálicas del cordón y puede producir microestructuras de baja tenacidad. Con ciertos procedimientos de desoxidación el Ti, Zr, Ce y Ca pueden dar lugar a una reducción del contenido de S en el acero y en el cordón.

2.12 Secuencia de Soldeo

2.12.1 Pase de Raíz

Al fundir un material sobre un acero tiene lugar un efecto de dilución de elementos de aleación del metal base en el metal aportado. En el caso de la soldadura de los aceros HSLA los elementos Cr y Mo que, aunque en pequeña proporción, normalmente forman parte de su composición química tienden a pasar al metal depositado aumentando su templabilidad, al ser ambos alfégenos.

Este efecto, que en realidad tiene lugar en todos los cordones que tocan al metal base, se acentúa en el cordón de raíz porque presenta más superficie de contacto y, por tanto, mayor frontera de paso. Por otra parte, el cordón de raíz soporta su auto contracción una vez solidificado, con una fuerte rigidez de la estructura y una gran masa disipante de calor.

Estas son las razones por las que se recomienda un electrodo manual o un hilo para la soldadura bajo gas, GMAW, con menos elementos de aleación que el propio acero base y con adición de Ni, elemento gammágeno, para contrarrestar el efecto de dilución de los elementos alfégenos antes mencionados.

El cordón de raíz, que sólo tiene la misión de soportar el relleno posterior de la junta con materiales aleados idóneos y acordes a las características mecánicas del metal base, debe ser eliminado en este tipo de aceros, preferentemente por esmerilado mecánico, antes de comenzar la soldadura por el otro lado y una vez comprobada la ausencia de fisuras con líquidos penetrantes.

2.12.2 Pasadas de relleno

En las pasadas de relleno se recomienda utilizar electrodos o hilos de aleación acordes a las características mecánicas del metal base.

La **Figura 2.5** y **Figura 2.6** muestra la secuencia de soldeo en el relleno de una junta en X, que se ajusta para que la estructura metalúrgica del cordón que se deposita sea bainítico-martensítica. Al depositar cada cordón hay un efecto de revenido sobre los anteriores, en consecuencia, en la soldadura de éste tipo de aceros la secuencia de soldeo tiene una gran importancia. Observe en la **Figuras 2.6**, el perfil de durezas de la última capa de relleno.

En a) los cordones se depositan sucesivamente y se producen dos entallas metalúrgicas en la frontera del metal depositado con el metal base, o sea, en la zona térmicamente afectada, ZAT.

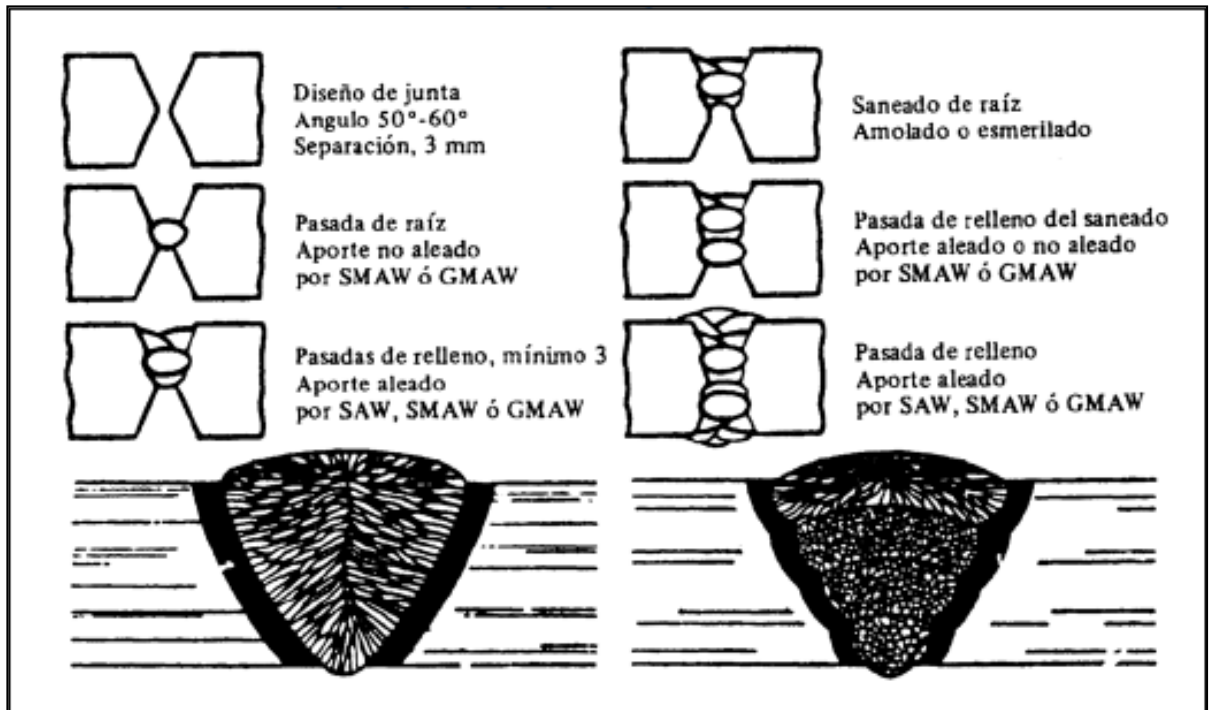


Figura 2. 5: Secuencia de Soldeo en Unión en "X"

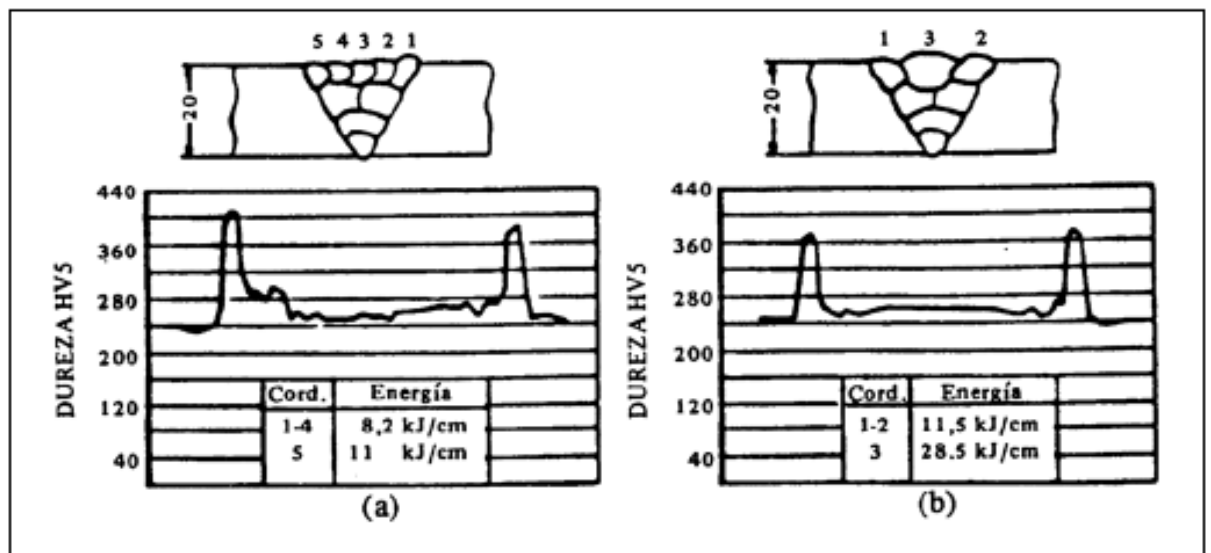


Figura 2. 6: Comparativo de Perfil de dureza

En b) el cordón 3 tiene un efecto de revenido sobre los cordones 1 y 2, en contacto con el metal base, disminuyendo de esta forma la dureza de la zona afectada térmicamente.

2.13 Recomendaciones sobre la introducción de hidrógeno

Para prevenir la fisuración en frío hay que procurar que el contenido de hidrógeno del metal depositado sea el más bajo posible, no debiendo superar 4 cm³ /100 g, calificado y es considerado como de «muy débil». Lo anterior se logra siguiendo las siguientes recomendaciones:

De manera similar, los fluxes deben secarse antes de su uso durante un periodo de 2 horas mínimo y 5 horas máximo, a temperaturas entre 350 °C y 400 °C. Para evitar la absorción de humedad se recomienda almacenar los fluxes en contenedores metálicos totalmente estancos o, preferiblemente, en la misma estufa en donde se almacenan los electrodos revestidos.

2.14 Velocidad de Enfriamiento de la Soldadura

La velocidad de enfriamiento del metal aportado depende de la temperatura de precalentamiento del metal base y de la energía aportada en el proceso de soldeo.

Una velocidad de enfriamiento muy rápida del metal aportado desde la temperatura de austenización, debida a una baja temperatura de precalentamiento y al mismo tiempo a una baja energía aportada, aumenta la carga de rotura del metal depositado que resultaría mucho más alta que la del metal base, y disminuye la ductilidad de la junta soldada.

Una velocidad de enfriamiento extremadamente rápida del metal aportado y de la zona afectada térmicamente, ZAT, puede ocasionar fisuras, especialmente con un metal depositado con alto contenido en hidrógeno.

En el caso de una lenta velocidad de enfriamiento del metal aportado, por excesiva temperatura de precalentamiento junto con una alta energía aportada, cabe esperar que la carga de rotura del metal depositado sea inferior a la del metal base.

CAPITULO III

ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

3.1 Procedimiento de Soldadura según ASME SECCION IX

Para la elaborar el procedimiento de soldadura (WPS) para cada uno de los procesos, SAW y GMAW, utilizando el ASME SECCION IX 2010 como código aplicable, se debe tener definido en un formato lo siguiente:

- Diseño de junta: Para nuestro caso Junta de penetración completa (JPC) en X.
- Metal Base: Para nuestro caso el acero Sumiten con la designación 780S, el cual es un acero no listado dentro del código ASME SECCION IX
- Metal de aporte: Para nuestro caso Superarc LA-100 para el proceso de soldadura GMAW y el OP121TT/W-OE-SD3 2.5NiMoCr para el proceso de soldadura SAW.
- La posición de ranura: Para nuestro caso en1G.
- Temperatura de Pre calentamiento: Por recomendación de SUMITOMO METAL STEEL se trabaja de 100 a 150° C.
- Temperatura de post calentamiento: Por recomendación de SUMITOMO METAL STEEL se trabaja a una temperatura de 150°C a 200°C por un periodo de dos horas.
- Características Eléctricas: Los valores de amperaje y voltaje utilizados serán los recomendados por el proveedor de metal de aporte.

- Técnica de soldeo, cordón de soldadura recto u oscilante: Para nuestro caso un cordón de soldadura recto.

Tener en cuenta que todo procedimiento de soldadura (WPS) debe de ser calificado mediante pruebas destructivas y registrado en un documento conocido como PQR, la calificación se realizara en el capítulo siguiente. Ahora Evaluaremos las variables de los proceso de soldadura, cada proceso de soldadura tiene asignado variables que afectan las propiedades mecánicas de la unión soldada si es que sufren algún cambio, es por tal razón que el código a ASME SECCION IX 2010 a designado variables esenciales, no esenciales y suplementarias. En la **Tabla 3.1** y **Tabla 3.2** se muestra las variables esenciales y esenciales suplementarias para el proceso SAW y GMAW.

3.2 Variables del Procedimiento de Soldadura

En adelante explicaremos cada una de las variables para cada proceso de soldadura.

Metal Base (QW-403)

QW-403.5 Número de grupo (variable suplementaria)

Un cambio en el numero de grupo (para nuestro caso no es aplicable por que nuestra calificacion solo se da para el material especificado).

QW-403.6 Limites de T (variable suplementaria)

El minimo espesor de metal base calificado es T ó 16 mm cualquiera que sea menor, sin embargo donde T es menor que $\frac{1}{4}$ (6mm) el minimo espesor calificado es $\frac{1}{2}T$ esta limitacion no es aplicado cuando un WPS

es calificado con un PWHT por encima de la temperatura de transformación.

QW-403.8 T Calificado (variable esencial)

Un cambio en el espesor del metal base más allá que el rango calificado en QW-451 excepto que otra variante sea permitida por QW-202.4(b).

Tabla 3. 1: Variables esenciales y esenciales suplementarias para el proceso SAW

Variables de soldadura para especificación de procedimiento (WPS) – Soldadura de arco Sumergido (SAW)				
Párrafo		Resumen de variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias
QW-403 Metales Base	.5	φ Número de Grupo		X
	.6	Límites de T		X
	.8	φ T Calificado	X	
	.9	Paso t > ½ pulg (13mm)	X	
	.11	φ No. P calificado	X	
	.13	φ No. P 5/9/10	X	
QW-404 Metales de Aporte	.4	φ Número F	X	
	.5	φ Número A	X	
	.9	φ Fund. /clase alambre	X	
	.10	φ Aleación de fundente	X	
	.24	± Suplementario φ	X	
	.27	φ Elementos aleación	X	
	.30	φ t	X	
	.34	φ Tipo fundente	X	
	.35	φ Fundente /clase de alambre		X
	.36	Escoria remolida	X	
QW-406 Pre calentamiento	.1	Disminución > 100° F	X	
	.3	Aumento > 100° F (EP)		X
QW-407 PWHT	.1	φ PWHT	X	
	.2	φ PWHT (T y serie T)		X
	.4	T Límites	X	
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Gasto de calor		X
	.4	φ Corriente o polaridad		X
QW-410 Técnica	.9	φ Multi a paso simple/lado		X
	.10	φ Simple a multi electrodos		X

Tabla 3. 2: Variables esenciales y esenciales suplementarias para el proceso GMAW

Variables de soldadura para especificación de procedimiento (WPS) – Soldadura de arco Metálico con Gas (GMAW)				
Parrafo		Resumen de variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias
QW-403 Metales Base	.5	φ Número de Grupo		X
	.6	Límites de T		X
	.8	φ T Calificado	X	
	.9	Paso t > ½ pulg	X	
	.10	Limites de T (arco corto circuito)	X	
	.11	φ No. P calificado	X	
	.13	φ No. P 5/9/10	X	
QW-404 Metales de Aporte	.4	φ Número F	X	
	.5	φ Número A	X	
	.12	φ Clasific. AWS		X
	.23	Forma de producto de metal de aporte	X	
	.24	± Suplementario φ	X	
	.27	φ Elementos aleación	X	
	.30	φ t	X	
.32	Límite de t (Arco de C. Circ.)	X		
QW-405 Posiciones	.2	φ Posición		X
QW-406 Precalentamiento	.1	Disminución > 100° F	X	
	.3	Aumento > 100° F (EP)		X
QW-407 PWHT	.1	φ PWHT	X	
	.2	φ PWHT (T y serie T)		X
	.4	T Límites	X	
QW-408 Gas	.2	φ Simple, mixtura, o %	X	
	.9	– Respaldo ó φ comp.	X	
	.10	φ Protección o arrastre	X	
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Gasto de calor		X
	.2	φ Modo de transferencia	X	
	.4	φ Corriente o polaridad		X
QW-410 Técnica	.9	φ Multi a paso simple/lado		X
	.10	φ Simple a multi electrodos		X

QW-403.9 t pase ½ (13 mm) (variable esencial)

Para soldaduras de un solo pase ó multipases en los cuales cualquier pase es mayor que 1/2 " (13mm) de espesor, un incremento en el espesor del metal base más allá de 1.1 veces que el cupon de ensayo calificado.

QW-403.10 Limites de T (variable esencial) GMAW

Para el modo de transferencia de corto circuito del proceso de arco metálico con gas, cuando el espesor de muestra de prueba de calificación es de menos de ½ pulg., un aumento en el espesor más allá de 1.1 multiplicado por aquel de la muestra de prueba de calificación. Para espesores de ½ pulg. y mayores, use QW-451.1 ó QW-451.2, como sea aplicable.

QW-403.11 P-Nº. Calificado (variable esencial)

El metal base especificado en el WPS debe ser calificado por una prueba de calificación de procedimiento que fue realizado usando metales base de acuerdo con QW -424.

- **QW-424** (Dice que un metal base es asignado a un número P ó S designado en la tabla QW-422, si no fuese así es considerado como un metal base inasignado que puede ser referido en el WPS y PQR, por su especificación, tipo y grado o por su análisis químico y propiedades mecánicas).

QW-403.13 P-Nº. 5 / 9 /10 (variable esencial)

Un cambio de un P-No 5 a cualquier otro P-No 5 (a saber P-No 5A a un P-No 5B ó P-No 5C ó viceversa). Un cambio de un P-No 9A a P-No 9B pero

no viceversa. Un cambio desde un P-No 10A a cualquier otro P-No 10 (a saber P-No 10 A a un P-No 10B ó P-No 10C etc. ó viceversa).

Metal de Aporte (QW-404)

QW-404.4 F Número (variable esencial)

Un cambio desde un F-Number en la tabla QW-432 a cualquier otro F-Number u otro material de aporte no señalado en la tabla QW-432.

QW-404.5 A Numero (variable esencial)

(Aplicable sólo a materiales ferrosos) Un cambio en la composición química del depósito de soldadura de un A-Number a cualquier otro A-Number en la tabla QW-442 calificación con A Number 1 será calificada por A Number 2 y viceversa. La composición química del metal depositado puede ser determinada de la manera siguiente:

- a) Para todos los procesos de soldadura – De un análisis químico del material de aporte depositado tomado de la calificación del procedimiento de la prueba del cupón.

- b) Para los procesos SMAW, GTAW y PAW el análisis de la composición química de acuerdo con la especificación del material de aporte a depositar, así como también el certificado suministrado por el fabricante.

- c) Para GMAW y EGW de una análisis químico del material de aporte a depositar realizado conforme las especificaciones o el certificado

suplementario del fabricante cuando el gas de protección sea el mismo que el empleado para el procedimiento de calificación del cupón

- d) Para el proceso SAW un análisis químico del material de aporte a depositar de acuerdo con las especificaciones del material de aporte o el certificado suministrado por el fabricante, cuando el fundente usado sea el mismo que el empleado para la prueba de calificación de la prueba del cupón. En lugar de un A-Number, la composición química nominal del material de aporte depositado será indicado en el WPS y en el PQR. La designación de la composición química nominal también puede ser mediante las referencias de la AWS (En el caso de que exista) La denominación comercial del fabricante u otros documentos de procedimientos requeridos.

QW-404.9 Flujo/ Clase de alambre (variable esencial)

- a) Un cambio en el indicador para una tensión mínima de esfuerzo cuando la combinación fundente y alambre sea clasificado en la Sección II, Parte C.
- b) Un cambio en el nombre comercial del fundente o alambre cuando ambos no estén clasificados en la Sección II, Parte C.
- c) Un cambio del nombre comercial del fundente aún cuando el alambre cumpla con las especificaciones de la Sección II Parte C y el fundente no. Un cambio en la clasificación del alambre dentro de los requerimientos del QW-404.5 no requiere recalificación.

- d) Un cambio del nombre comercial del fundente para los depósitos A-Nº.8

QW-404.10 Aleación del flujo (variable esencial)

Donde el contenido de la aleación del material de aporte depende en gran medida de la composición del fundente empleado, cualquier cambio en cualquier parte del procedimiento de soldadura que pueden ser los elementos importantes de aleación en el material de aporte ó fuera del rango de especificaciones químicas dadas en el WPS. De haber evidencias que la producción de soldadura no sea hecha de acuerdo a las especificaciones, la autorización del inspector puede requerir que se le haga una revisión a la composición química del material de aporte, tal revisión deberá ser preferentemente hecha en la producción de soldadura.

QW-404.12 Cambio en clasificación (suplementaria esencial) GMAW

Un cambio en la clasificación de metal de aporte de especificación de SFA ó a un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA, ó de un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA a otro metal de aporte que no está cubierto por una especificación de SFA.

Cuando un metal de aporte conforma con un clasificación de especificación de SFA, no se requiere recalificación si se hace un cambio en cualquiera de los siguientes:

- a) De un metal de aporte que es designado como resistente a humedad a uno el cual no es designado como resistente a humedad, e inversamente, (o sea, de E7018R a E7018).

- b) De un grado para hidrógeno difusible a otro (o sea, de E7018-H8 a E7018-H16).
- c) Para metales de aporte de acero al carbono, de baja aleación, e inoxidable que tienen la misma resistencia de tensión mínima y la misma composición química nominal, un cambio de un tipo de recubrimiento de hidrógeno bajo a otro tipo de recubrimiento de hidrógeno bajo (o sea, un cambio entre clasificaciones EXX15, 16 ó 18 ó EXXX 15, 16, ó 17).
- d) De una designación de posición-disponibilidad a otra para electrodos con núcleo de fundente (o sea, un cambio de E70T-1 a E71T-1 o lo inverso).
- e) De una clasificación que requiere ensayo de impacto para la misma clasificación la cual tenga un sufijo que indica que se efectuó ensayo de impacto a una temperatura inferior o exhibió mayor tenacidad a la temperatura requerida o ambas cosas, en comparación con la clasificación que se usó durante la calificación de procedimiento (o sea, un cambio de E7018 a E7018-1).
- f) De la clasificación calificada a otro metal de aporte dentro de la misma especificación de SFA cuando otras Secciones exigen de Pruebas de Impacto al metal de soldadura.

Esta exención no se aplica a sobre capas de revestimiento duro y resistentes a corrosión.

QW-404.23 Cambio de metal de aporte (variable esencial) GMAW

Un cambio de una de las siguientes formas de producto de metal de aporte a otra:

- (a) Desnudo (sólido) o con núcleo de metal
- (b) Con núcleo de fundente
- (c) Solido cubierto de fundente o núcleo de metal
- (d) Polvo

QW-404.24 Suplementario (variable esencial)

La adición, eliminación o cambio de mas del 10% en e volumen del material de aporte suministrado.

QW-404.27 Elementos de aleación (variable esencial)

En el caso de que el contenido del material de aporte dependa en gran medida de la composición química del material de aporte (Incluido el PODWER de relleno para el proceso PAW) , un cambio en cualquier parte del proceso de soldadura como un elemento de aleación importante, lo dejaría fuera del rango de la composición química en el WPS.

QW-404.30 t (varible esencial)

Un cambio en el espesor del material de aporte mas allá del rango en el QW-451 para el procedimiento de calificación ó en el QW-452 para la calificación excepto cuando el QW-303.1 y el QW-303.2 lo permitan.

Cuando un soldador sea calificado mediante pruebas radiográficas se aplicará el rango de espesores de la tabla QW-452.1(b) .

QW-404.32 t Limite (variable esencial) GMAW

Para el tipo de corto circuito de bajo voltaje de proceso de arco metálico con gas, cuando el espesor de metal de soldadura depositado es de menos de ½ pulg., un aumento en espesor de metal de soldadura depositado más allá de 1.1 multiplicado por aquel del espesor de metal de soldadura depositado de prueba de calificación. Para espesores de metal de soldadura de ½ pulg. y mayores, use QW-451.1 ó QW-451.2, o QW- 452.1 ó QW-452.2, como sea aplicable.

QW-404.34 Tipo de flujo (variable esencial)

Un cambio en el tipo de fundente para depósitos en capas múltiples en materiales P-Nº 1.

QW-404.35 Suplementario (variable esencial)

Un cambio en la clasificación del fundente o alambre o un cambio en el nombre comercial del alambre cuando no esté clasificado según las especificaciones del SFA. No se requiere recalificación cuando la combinación alambre-fundente esté de acuerdo a las especificaciones de la SFA y dicho cambio esté hecho de un nivel de hidrógeno difusible sea otro. (Es decir F7A2-EA1-A1H4 a F7A2-EA1-A1H16) . Esta variable no se aplica cuando el material de aporte esté exenta de pruebas de impacto por otras secciones, esta excepción no es aplicable para revestimientos duros y elementos resistentes a la corrosión.

QW-404.36 Recrushed slag (variable esencial)

Cuando el fundente recogido sea usado nuevamente, como lo define la SFA-5.01, será evaluado de acuerdo a la sección II Parte C por el

fabricante y el usuario o cualquiera o calificado por un fundente no calificado que vaya acorde al QW-404.9.

Posición (QW-405)

QW-405.2 Cambio de posicion_(variable suplementaria esencial) GMAW

Un cambio de cualquier posición respecto a la progresión hacia arriba de posición vertical. La progresión hacia arriba vertical (p.ej., posición 3G, 5G. ó 6G) califica para todas las posiciones. En la progresión hacia arriba, un cambio de cordón longitudinal a cordón en vaivén. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se aplica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.

Pre calentamiento (QW-406)

QW-406.1 Decremento (variable esencial)

Un decremento mayor a 38°C en la temperatura de pre calentamiento calificada. La temperatura mínima para la soldadura será especificada en el WPS.

QW-406.3 Incremento (variable suplementaria)

Un incremento de más de 38°C en la temperatura máxima de interfase registrada en el PQR. Esta limitación no se aplica cuando un WPS esta calificado con tratamiento térmico sobre la temperatura de transformación superior ó cuando un material autenítico es recocido a solución despues de la soldadura.

Tratamiento después de la soldadura (QW-407)

QW-407.1 Tratamiento después de la soldadura (PWHT) (variable suplementaria)

Se requiere una calificación del procedimiento por separado para cada una de las siguientes condiciones:

(a) Para materiales P-No. 1, P-No. 3, P-No. 4, P-No. 5, P-No. 6, P-No. 9, P-No. 10, y P-No. 11, se aplicarán las siguientes condiciones para el tratamiento térmico de postsoldadura.

1. N° PWHT
2. PWHT por debajo de la menor temperatura de transformación
3. PWHT sobre la mayor temperatura de transformación
4. PWHT sobre la mayor temperatura de transformación seguida de un tratamiento térmico debajo de la temperatura
5. PWHT entre la menor y mayor temperatura de transformación

(b) Para todos los otros materiales se aplicarán los siguientes tratamientos térmicos de post soldadura:

1. No PWHT
2. PWHT dentro del rango de temperaturas especificado.

QW-407.2 Tratamiento después de la soldadura (t y t rango) (variable suplementaria)

Un cambio en el tratamiento térmico de post soldadura (Ver QW-407.1) y rango de tiempos. La prueba de calificación del procedimiento estará sometida a un PWHT esencialmente equivalente a lo encontrado en la fabricación de los productos soldados, incluyendo al menos el 80% de los tiempos agregados para la temperatura. El PWHT total de veces.

QW-407.4 T Limite

Para metales de ferrosos distintos a P-No. 7, P-No. 8, y P-No. 45, cuando una prueba de calificación del procedimiento del cupón reciba un tratamiento térmico de post soldadura por encima de la temperatura superior de transformación el máximo espesor del material calificado no excederá los 1.1 veces el espesor de los supones de prueba.

Gas (QW-408)**QW-408.2 Cambio en simple, mixto o porcentaje** (variable esencial) GMAW

Se requiere un PQR separado para cada una de las condiciones que siguen:

- a) Un cambio de un simple gas de protección a cualquier otro simple gas de protección.
- b) Un cambio de un simple gas de protección a una mezcla de gases de protección, e inversamente.
- c) Un cambio en la composición de porcentaje especificado de una mezcla de gas de protección.
- d) La adición u omisión de gas de protección.

QW-408.9 Disminución o cambio de composición (variable esencial) GMAW

Para soldaduras en ranura de No. P-4X y todas las soldaduras de metales de No. P-5X, No. P-6X, No. P-10I, No. P10J, y No. P-10K, P-No. 51 a P-No. 53, and P-No. 61 a P-No. 62 la eliminación de gas de respaldo o un cambio en la composición nominal del gas de respaldo de un gas inerte a una mezcla que incluya gas(es) no inerte(s).

QW-408.10 Cambio de proteccion o arrastre (variable esencial) GMAW

Para metales de No. P-10I, No. P-5X, y No. P-6X, la supresión de la salida de gas protector, o un cambio en la composición nominal del gas de salida a partir de un de gas inerte a una mezcla que incluye gas no inerte (s), o un disminución de 10% o más en la tasa de flujo de gas de salida.

Características Eléctricas (QW-409)**QW-409.1 > En el calor de aporte (heat input) (variable suplementaria)**

Un incremento del calor aportado o un incremento del metal de soldadura depositado por unidad de longitud de soldadura sobre lo que se ha calificado. El incremento también puede ser determinado por lo siguiente:

- a) Heat Input [J/in. (J/mm)]
- b) Volumen del metal depositado está medido por:
 1. Un incremento del tamaño del cordón de soldadura (Espesor y ancho).
 2. Una disminución del cordón de soldadura por unidad de longitud del electrodo, los requerimientos para la medida del calor de aporte del volumen del material de aporte depositado no es aplicable cuando el WPS es calificado con un PWHT por encima de la máxima temperatura de transformación o cuando un material austenítico sea una solución templada después de la soldadura.

QW-409.2 Cambio en modo de transferencia (variable esencial) GMAW

Un cambio de arco pulverizador, arco globular, o arco de pulsación a arco de cortos circuitos, o inversamente.

QW-409.4 Polaridad de corriente (variable suplementaria)

Un cambio del tipo de corriente AC a DC o viceversa y en el caso de ser DC un cambio de polaridad.

Tecnica (QW-410)**QW-410.9 Tamaño de un multiple y pase simple** (variable no esencial)/ (variable suplementaria)

Un cambio de multipases por lado por un único pase por lado. Esta limitación no se aplica cuando un WPS es calificado con PWHT por encima de la temperatura de transformación máxima o cuando un material austenítico sea una solución templada después de la soldadura.

QW-410.10 Electrodo multiple o simple (variable no esencial)/ (variable suplementaria)

Un cambio de un electrodo a un electrodo multiple o viceversa para los equipos de soldadura incluso si son procesos automáticos.

QW-410.64 Usos de procesos termicos (variable esencial)

Para recipientes o partes de los recipientes construidas con PN^o 11A y P-N^o 11B de metal base, los canales de soldadura para espesores menores que 5/8" (16 mm.) serán preparados por procesos térmicos cuando tales procesos sean empleados durante la fabricación. Estas ranuras de preparación también serán incluidas en el reverso o removidas, del material adicionado, por procesos térmicos cuando estos procesos son empleados durante la fabricación.

3.3 Determinación de la Temperatura de Pre calentamiento

Teniendo en cuenta que el método mas adecuado para determinar la temperatura de pre calentamiento es el método de control de hidrogeno indicado por el código D1.1 2010, primero determinaremos el carbono equivalente, posteriormente utilizaremos el diagrama de Graville para determinar en que zona se encuentra nuestro acero

3.4 Formula de Carbono Equivalente (CE_{AWS})

$$CE = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (4.1)$$

3.5 Composición Química del Acero

Tabla 3. 3: Composición química de la muestra de acero con designación SUMITEN 780S

Composición Química (%) del Acero con designación SUMITEN 780S													
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	B	CE
0.13	0.04	1.04	0.011	0.002	0.03	0.02	0.78	0.32	0.04	0.01	0.063	0,0014	0.54

3.6 Diagrama de Graville

Zona I: Buena soldabilidad, poco riesgo de comportamiento frágil.

Zona II: Se deben tomar precauciones para evitar formación de estructuras frágiles

Zona III: Difícil soldabilidad, alto riesgo de fisuración, se debe utilizar el método de control de hidrogeno

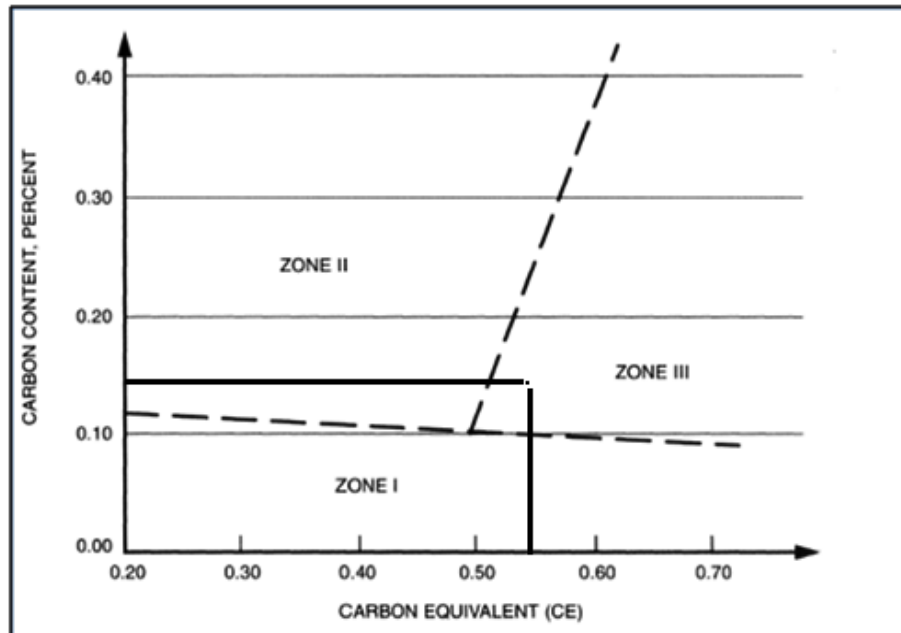


Figura 3. 1: Diagrama de Graville

Observado el diagrama de Graville en relación a los valores de CE y el porcentaje de C, el acero SUMITEN 780S se encuentra en la zona III. Por lo tanto se procede a calcular el parámetro de composición (PMC) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PMC = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (4.2)$$

Este índice PMC, propuesto por Ito y Bessyo permite evaluar la susceptibilidad a la fisuración de aceros de bajo carbono, para ello se emplea la siguiente relación:

$$Indice\ de\ Susceptibilidad = 12PMC + \log H \quad (4.3)$$

Donde:

PMC = Parámetro de composición de Ito Bessyo

H = Nivel de hidrogeno difundido en el metal soldado (ml/100g de metal depositado).

Utilizando los valores de la tabla se puede determinar:

Tabla 3. 4: Calculo de la temperatura de Pre calentamiento

Proceso	Material Base	Espesor de metal base	Nivel de hidrogeno ml/100g	PMC	Índice de susceptibilidad	Nivel de restricción	Tp. Mínima (°C)
SAW	H780	40mm	4.0	0.26	3.72	Medio	110
GMAW	H780	34mm	5.0	0.26	3.81	Medio	75

Tabla 3. 5: Temperaturas de Pre calentamiento (°C) y de interpase minima para diferentes condiciones según Codigo AWS D1.1M 2010

INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO								
Nivel de Restricción	Espesor (mm)	A	B	C	D	E	F	G
BAJO	< 10	< 20°	< 20°	20°	< 20°	60°	140°	150°
	10 – 20	< 20°	< 20°	20°	60°	100°	140°	150°
	20 – 38	<20°	<20°	20°	80°	110	140°	150°
	38 – 75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	>75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
MEDIO	< 10	< 20°	< 20°	< 20°	< 20°	70°	140°	160°
	10 – 20	< 20°	< 20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20 – 38	20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38 – 75	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	>75	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
ALTO	< 10	< 20°	< 20°	< 20°	40°	110°	150°	160°
	10 – 20	< 20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20 – 38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38 – 75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	>75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°

Cuadro 3.1 : Especificación de Procedimiento de soldadura por Proceso SAW

Nombre de la compañía:	----	Por:	GRUPO SUMITEN 780S	
Especificación de Procedimiento No.	WPS-60	Fecha:	16/08/2013	PQR de soporte: PQR 45
Revisión No.	0	Fecha:	16/08/2013	
Proceso(s) de soldadura:	SAW	Tipo:	JUNTA EN X	
JUNTA (QW-402)				
Diseño de junta:	VER DETALLE			
Respaldo: (Si) ---- (No) SI				
Material de respaldo: (Tipo):	SOLDADURA			
<input checked="" type="checkbox"/> Metal ----- <input type="checkbox"/> Refractario -----				
<input type="checkbox"/> No metálico ----- <input type="checkbox"/> Otro -----				
<p>Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.</p>				
<p>$\alpha = 60^\circ + 10^\circ$ $f = 3 + 0.5mm$ Junta sin separación</p>				
METAL BASE (QW-403)				
Nº P: -----	Grupo Nº: -----	al Nº P: -----	Grupo Nº: -----	
Especificación de tipo y grado: -----				
Hasta la especificación de tipo y grado: -----				
Análisis químico y propiedades mecánicas: C 0.13; SI 0.04; Mn 1.04; P 0.001; S 0.002; Cu 0.03; Ni 0.02; Cr 0.78; Mo 0.30;				
Hasta el análisis químico y propiedades mecánicas: V 0.04; Ti 0.01 B 0.0014 ; Al 0.065 / YP 834 MPa ; TS 892 MPa				
Otros : Acero no listado por ASME Sección IX -2010 , Solo califica al mismo acero no listado (SUMITEN 780S)				
Rango de espesores:				
Metal base:	Ranura:	16 Hasta 80mm	Filete:	-----
Diam. Tubo	Ranura:	Todos	Filete:	-----
Otro				
METAL DE APORTE (QW-404)				
Especificación Nº (SFA)	5.23			
AWS No (Clase)	F11A6-EG			
Nº F	6			
Nº A	12			
Tamaño del electrodo	3.25 mm			
Metal depositado				
Rango de espesores				
Ranura	Hasta 80 mm			
Filete	Todos			
Fundente (clase)	NINGUNO			
Fundente nombre comercial	OP121TT/W – OE-SD3 2.5 NiMoCr			
Inserto consumible	-----			

POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO				
Posición(es) de ranura		<i>Plano</i>		Rango de temperatura:		Post - heating entre 150°C – 200°C		
Progresión: Asc: -----		Desc. -----		Tiempo:		2 horas para retirar el hidrógeno de la zona de soldadura.		
Posición de filete				GAS (QW-408)				
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual				
Temp. Pre calentamiento	M	110°C - 120°C		Gas(es)	Mezcla	Flujo		
Temp. Interpase	Máx:	150°C (max)		Protección	-----	-----		
Mantenimiento pre calentamiento:		-----		Arrastre	-----	-----		
				Respaldo	-----	-----		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC		<i>Ver tabla</i>		Polaridad		<i>Ver tabla</i>		
Rango de amperaje		<i>Ver tabla</i>		Rango de voltaje		<i>Ver tabla</i>		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno				----- (Tungsteno puro, 2% toriado, etc)				
Modo de transferencia en GMAW				----- (Arco spray, corto circuito, etc)				
Velocidad de alimentación de alambre								
TÉCNICA								
Pase ancho o delgado		Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el Calor aportado						
Orificio o tamaño de protección gaseosa				-----				
Limpieza inicial y entrepases (escobillado, esmerilado, etc)				<i>Esmerilado y/o Escobillado</i>				
Método de resane de raíz				<i>Esmerilar Hasta el Metal Sano Antes De Soldar El 2^{do} lado</i>				
Oscilación				-----				
Distancia de boquilla a pieza de trabajo				-----				
Pase múltiple o simple				MULTIPLE				
Electrodo simple o múltiple				SIMPLE				
Velocidad de avance (rango)				Ver tabla				
Martilleo				<i>Ninguno</i>				
Otro				<i>No</i>				
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min.)	Calor Aportado (KJ)
		Clase	Diam	Polaridad	Amperaje (A)			
1	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-500	30	312.9	2.64-2.87
2	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-500	30	335.2	2.47-2.68
3	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	336.8	2.45-2.56
4	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	359.5	2.30-2.40
5-X	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	333.3	2.48-2.59
X+1	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	326.5	2.53-2.64
X+2	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	323.4	2.56-2.67
X+3	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	316.3	2.61-2.73
X+3-N	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	310.4	2.66-2.78

Cuadro 3. 2: Especificación de Procedimiento de Soldadura por proceso GMAW

Nombre de la compañía:	PCUP		Por:	GRUPO SUMITEN 780S	
Especificación de Procedimiento No.	WPS-64	Fecha:	16/08/2013	PQR de soporte:	PQR-50
Revisión No.	0	Fecha:	16/08/2013		
Proceso(s) de soldadura:	GMAW	Tipo:	JUNTA EN X		
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta:	VER DETALLE				
Respaldo: (Si)	X	(No)	---		
Material de respaldo: (Tipo):	SOLDADURA				
<input checked="" type="checkbox"/> Metal	-----	<input type="checkbox"/> Refractario	-----		
<input type="checkbox"/> No metálico	-----	<input type="checkbox"/> Otro	-----		
Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.					
METAL BASE (QW-403)					
Nº P:	-----	Grupo Nº:	-----	al Nº P:	-----
Especificación de tipo y grado: -----					
Hasta la especificación de tipo y grado: -----					
Análisis químico y propiedades mecánicas: C 0.14; SI 0.06; Mn 1.14; P 0.007; S 0.002; Cu 0.25; Ni 0.02; Cr 0.81; Mo 0.34;					
Hasta el análisis químico y propiedades mecánicas: V 0.04; B 0.0005 ; Al 0.05 / YP 749 MPa ; TS 802 MPa					
Otros : Acero no listado por ASME Sección IX -2010, Solo califica al mismo acero no listado (SUMITEN 780S)					
Rango de espesores:					
Metal base:	Ranura:	16 Hasta 68mm	Filete:	-----	
Diam. Tubo	Ranura:	Todos	Filete:	-----	
Otro					
METAL DE APORTE (QW-404)					
Especificación Nº (SFA)	5.23				
AWS No (Clase)	ER-100S-G				
Nº F	6				
Nº A	12				
Tamaño del electrodo	1.1 mm				
Metal depositado					
Rango de espesores					
Ranura	Hasta 34 mm				
Filete	Todos				
Fundente (clase)	NINGUNO				
Fundente nombre comercial	CARBOFIL NiCrMo				
Inserto consumible	-----				

POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO				
Posición(es) de ranura		<i>Plano</i>		Rango de temperatura:		Post - heating entre 150°C – 200°C		
Progresión: Asc: -----		Desc. -----		Tiempo:		2 horas para retirar el hidrógeno de la zona de soldadura.		
Posición de filete				GAS (QW-408)				
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual				
Temp. Pre calentamiento		80°C - 110°C		Gas(es)		Mezcla		Flujo
Temp. Interpase		80°C - 110°C		Protección		90 %Ar		10%CO2
Mantenimiento pre calentamiento:		-----		Arrastre		-----		-----
				Respaldo		-----		-----
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC		<i>Ver tabla</i>		Polaridad		<i>Ver tabla</i>		
Rango de amperaje		<i>Ver tabla</i>		Rango de voltaje		<i>Ver tabla</i>		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno				----- (Tungsteno puro, 2% toriado, etc)				
Modo de transferencia en GMAW				----- (Arco spray, corto circuito, etc)				
Velocidad de alimentación de alambre								
TÉCNICA								
Pase ancho o delgado		Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el Calor aportado						
Orificio o tamaño de protección gaseosa		-----						
Limpieza inicial y entrepases (escobillado, esmerilado, etc)		<i>Esmerilado y/o Escobillado</i>						
Método de resane de raíz		<i>Esmerilar Hasta el Metal Sano Antes De Soldar El 2^{do} lado</i>						
Oscilación		-----						
Distancia de boquilla a pieza de trabajo		25 mm						
Pase múltiple o simple		MULTIPLE						
Electrodo simple o múltiple		SIMPLE						
Velocidad de avance (rango)		Ver tabla						
Martilleo		<i>Ninguno</i>						
Otro		<i>No</i>						
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min.)	Calor Aportado (KJ)
		Clase	Diam	Polaridad	Amperaje (A)			
1	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	160-200	30	312.9	2.64-2.87
2	GMAW	F11A6-EG	1.1	DCEP	265-280	30	335.2	2.47-2.68
3	GMAW	F11A6-EG	1.1	DCEP	263-268	30	285.8	2.45-2.56
ACABADO	GMAW	F11A6-EG	1.1	DCEP	260-290	30	334.5	2.30-2.40
ACABADO	GMAW	F11A6-EG	1.1	DCEP	260-290	30	442.5	2.48-2.59
6	GMAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	250-285	30	326.6	2.53-2.64
7	GMAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	250-275	30	274.3	2.56-2.67
8	GMAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	250-275	30	228.6	2.61-2.73
RELLENO	GMAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460-480	30	310.4	2.66-2.78

CAPITULO IV

CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

4.1 Calificación

Considerando la tabla QW 451.1 de la sección IX del código ASME 2010 para una junta de canal y pruebas de sección transversal, se requiere lo siguientes cantidad de pruebas y especímenes:

- Ensayo de Tensión de Sección Reducida: 4 especímenes
- Ensayo de Dobles de lado: 4 especímenes

Considerando QW 171.1, UHT-82 c y SUMITOMO METAL STEEL

- Ensayo de Impacto 6 especímenes

4.2 Ensayo de Tensión de Sección Reducida

Los especímenes de sección reducida que conforman con los requerimientos del ASME Sección IX se debe de cumplir que para espesor de plancha de acero mayor de 1 pulg., se pueden usar especímenes de espesor completo o especímenes múltiples, siempre y cuando se cumpla con lo siguiente:

- Cuando se usen especímenes múltiples, en vez de especímenes de espesor completo, cada juego representará una prueba de tensión simple del espesor

completo de placa. Colectivamente, todos los especímenes requeridos para representar el espesor completo de la soldadura en una ubicación comprenderán un juego.

- Cuando especímenes múltiples son necesarios, el espesor entero será cortado mecánicamente en un número mínimo de tiras aproximadamente iguales de un tamaño que se pueda probar en el equipo disponible. Cada espécimen del juego será probado y reunirá los requerimientos de aceptación.

Para nuestro caso el espesor de nuestro cupón es de 40mm se requerirá cuatro especímenes de sección reducida, dos para cada proceso.

4.3 Dimensiones de Probetas de Ensayo de Tensión de Sección Reducida

La **Figura 4.1** sirve de guía al dar dimensiones a los especímenes de prueba para las probetas requeridas para calificaciones de procedimiento de soldadura, las dimensiones son para considerarse aproximadas. Todos los procesos de soldar y el material de aporte que se van a calificar se deben incluir en el espécimen de prueba.

x = espesor de muestras con inclusión de refuerzo

y = espesor de espécimen

T = espesor de muestra con exclusión de refuerzo

W = ancho de espécimen $\frac{3}{4}$ pulg.

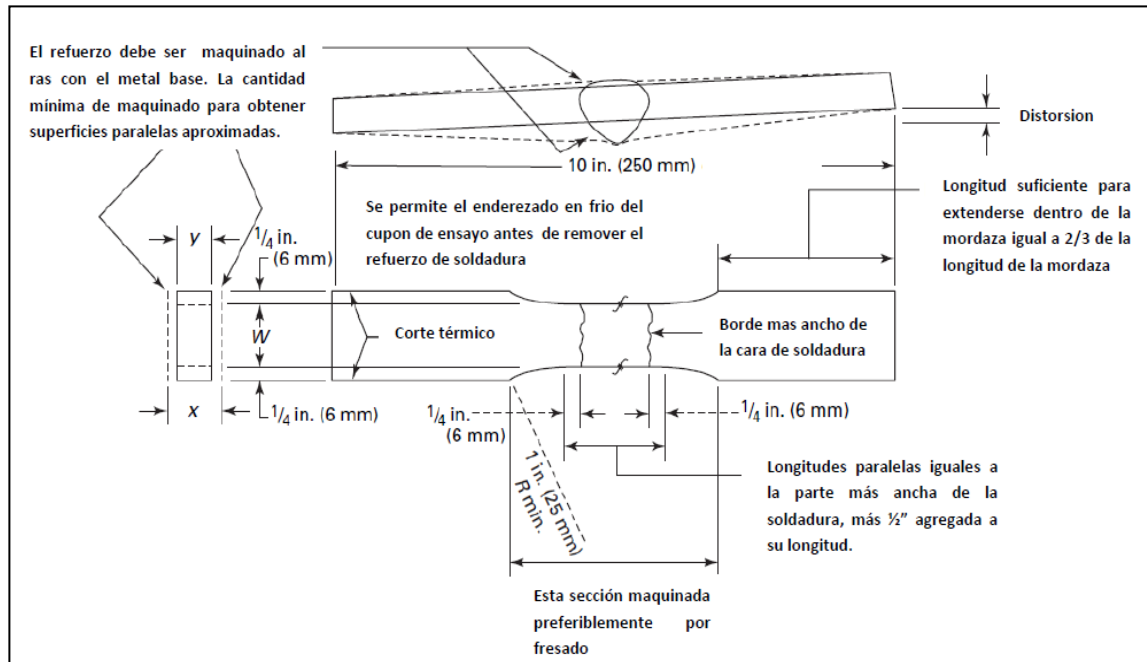


Figura 4. 1: Medidas del espécimen de Sección Reducida

4.4 Notas Generales

- El refuerzo de la soldadura será maquinado a ras con respecto al metal base. Maquine una mínima cantidad para obtener superficies aproximadamente paralelas.
- La longitud denominada resto en la figura debe ser lo suficiente para extenderlas en las mordazas igual a las dos terceras partes de la longitud de la mordaza.

4.5 Criterios de Aceptación

Para pasar la prueba de tensión, el espécimen tendrá una resistencia de tensión que no sea menor que:

- a) La mínima resistencia de tensión especificada del metal base.
- b) Si el espécimen se rompe en el metal base afuera de la soldadura o de la línea de fusión la prueba será aceptada como que satisface los requerimientos, siempre y cuando la resistencia no esté más del 5% abajo de la mínima resistencia de tensión especificada del metal base.

4.6 Prueba de Dobles Guiado

Se prepararán especímenes para prueba de doblez guiado mediante el corte de placa de prueba para formar especímenes de sección recta aproximadamente rectangular. Las superficies de corte se designarán los lados del espécimen. Las otras dos superficies serán llamadas las superficies de cara y de raíz, la superficie de cara teniendo el mayor ancho de soldadura. El espesor de espécimen se muestra en la **Figura 4.2**. Para nuestro caso realizaremos pruebas de dobles de transversal de lado.

4.7 Doblado Transversal Lateral

La soldadura es transversal al eje longitudinal del espécimen, el cual se dobla de modo que una de las superficies laterales se vuelve la superficie convexa del espécimen de doblado

Los especímenes de espesor de metal base de más de 11/2 pulg. , se pueden cortar en tiras aproximadamente iguales entre 3/4 pulg. y 11/2 pulg. de ancho para pruebas, o los especímenes pueden ser doblados al ancho completo (vea la **Figura 4.3** sobre ancho de dispositivo).

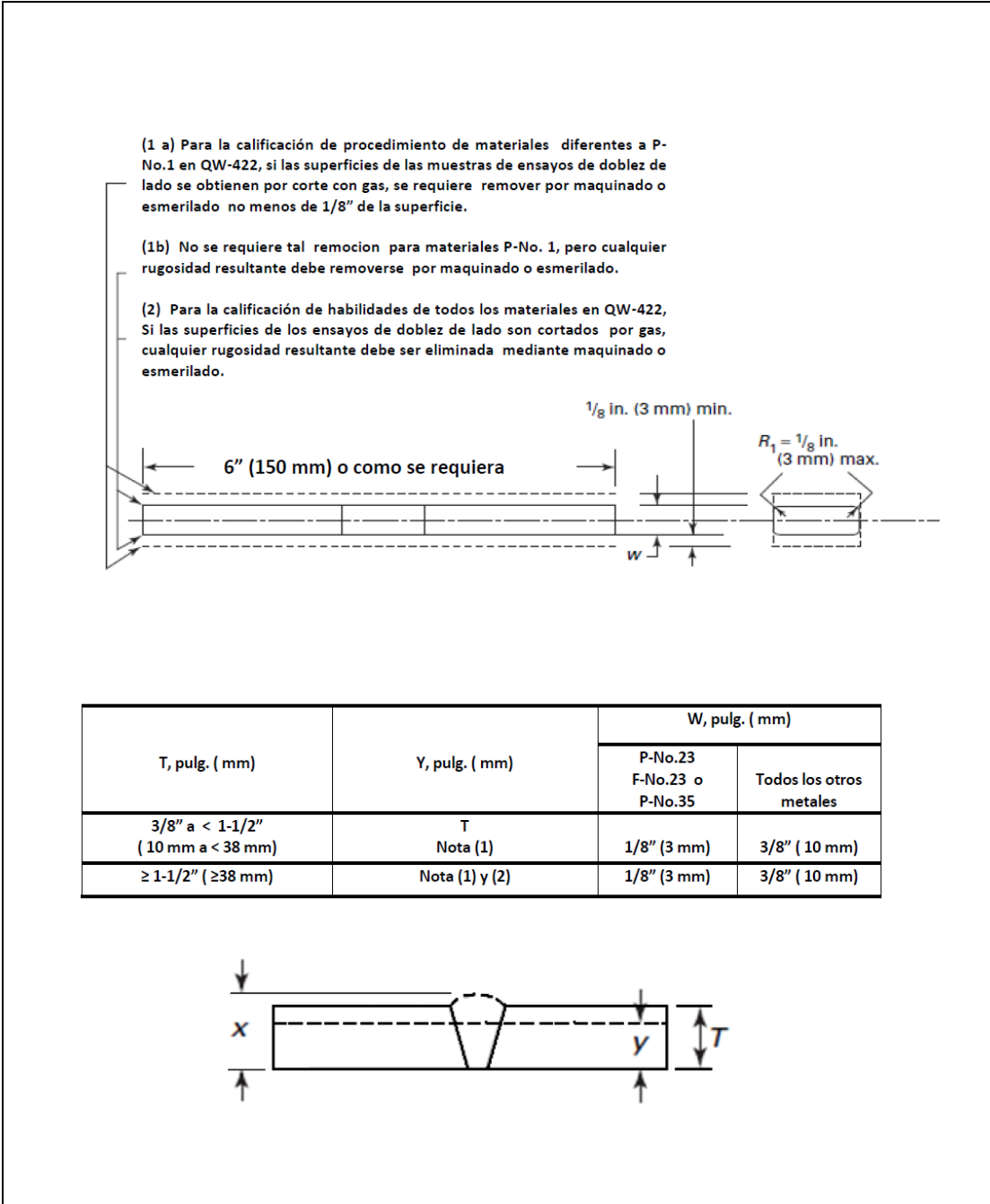


Figura 4. 2: Medidas para determinar el espécimen de dobles de Lado

4.8 Criterios de Aceptación de Prueba de Dobles Guiado

Considerando que la soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen de doblez transversal de soldadura, estará completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.

Los especímenes de doblez guiado no habrán de tener de defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 1/8 pulg., medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

4.9 Prueba de Tenacidad de Muesca

El ensayo de impacto de muesca V de charpy según el ASME IX (QW-170) nos dice que debe ser requerido por otra sección, en nuestro caso es requerimiento del material según estándar SUMITOMO METAL STEEL, además el ASME VIII también nos requiere según UHT-82 (c).

UHT-82 (c) nos dice que debemos de cumplir con los requerimientos de UG-84(proporciona que se deben de extraer dos set, cada set de tres especímenes para la prueba). Según requerimientos iniciales (QW-170) el charpy debe estar conforme SA-370.

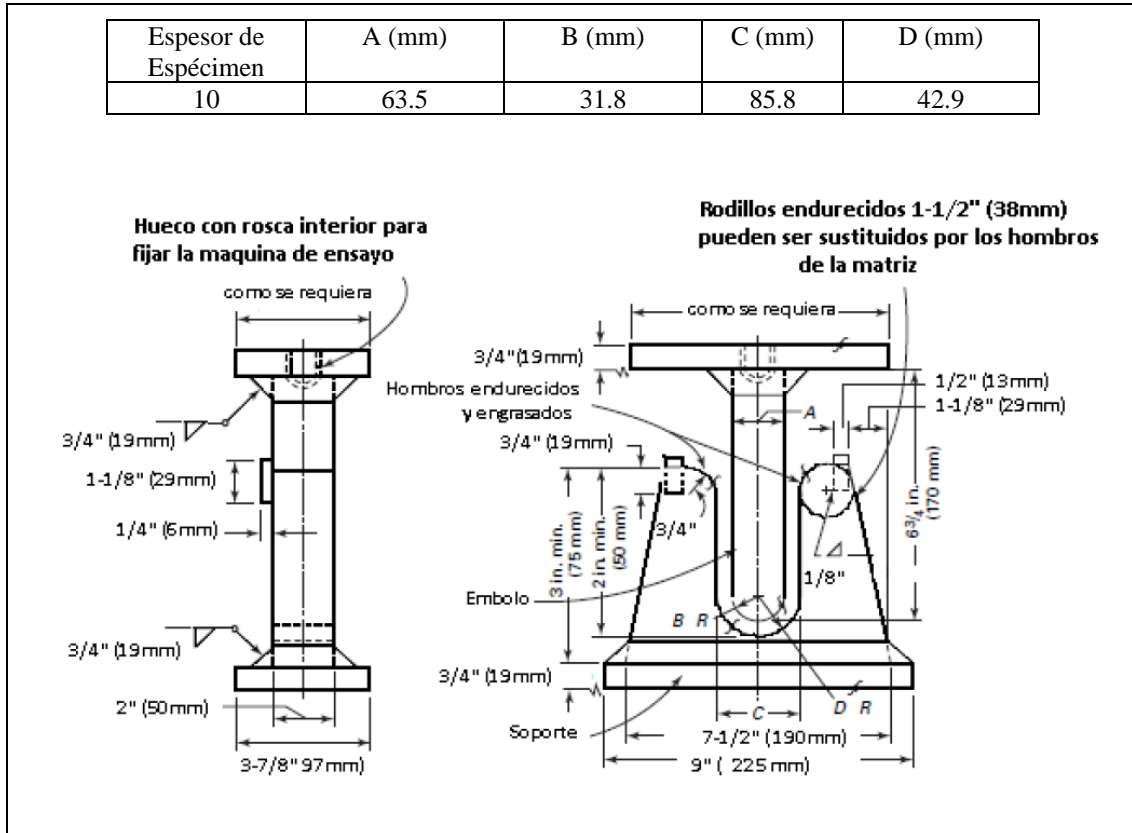


Figura 4. 3: Medidas de punzón de Dobles Guiado

Teniendo en cuenta el estándar SUMITOMO METALS STEEL se adjunta grafico donde se indica ubicación de las probetas de Impacto.

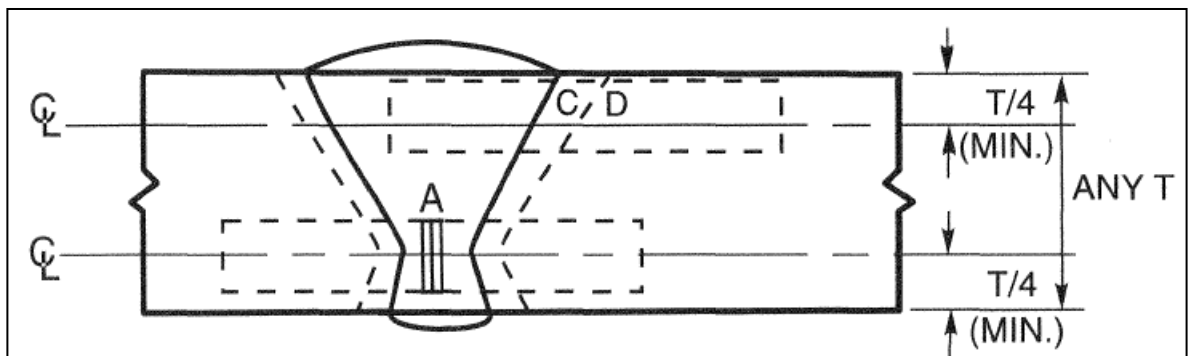


Figura 4. 4: Áreas de donde se extraerá las probetas de Impacto

Donde:

A: Línea central de soldadura, sobre la línea central de la probeta.

C: ZAC (Zona afectada por el calor) 1mm de la línea de fusión.

D: ZAC (Zona afectada por el calor) 5mm de la línea de fusión.

4.10 Criterios de Aceptación de Prueba de Tenacidad

Los criterios de aceptación son los siguientes:

Tabla 4. 1: Requerimientos de prueba de Tenacidad de Muesca

Temperatura de ensayo	Dirección	Energía absorbida		Especímenes
		Promedio	Individual	
- 20°C	Transversal	≥ 61J	≥ 43 J	10mm*10mm

4.11 Análisis Macrográfico

Nos basaremos en la norma ASTM E3, Guía estándar para preparación de especímenes macrográficos. Los especímenes se extraerán de las zonas contiguas de donde se extraen las probetas de impacto, con la finalidad de contrastar los valores de impacto con los del análisis micrográfico.

4.12 Prueba de Dureza

Para el desarrollo de esta prueba se usara como guía la norma ASTM E92. En base a los especímenes macrográficos se determinara los valores de dureza en tres diferentes zonas de empalme de soldadura, zona de metal base, zona de la ZAC y

la zona de metal de aporte. Nos basaremos en la técnica recomendada para realizar el barrido de durezas como se muestra en la **Figura 4.5**.

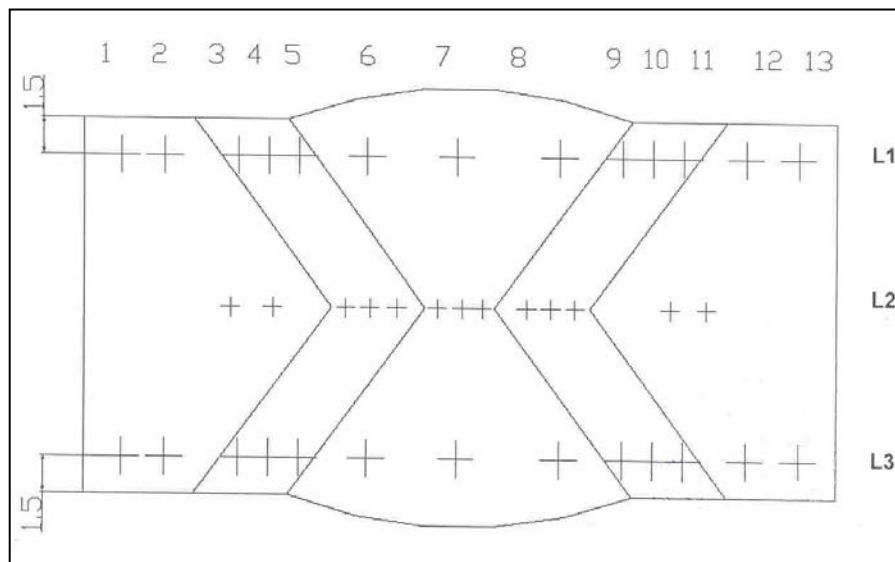


Figura 4.5 : Puntos de evaluación de Dureza

4.13 Dimensiones de las Probetas a Ensayar

El siguiente gráfico muestra las dimensiones del cupón de soldadura y la distribución de los especímenes de prueba de donde fueron extraídos, considerando estos datos podemos proceder a la etapa de preparación de muestra.

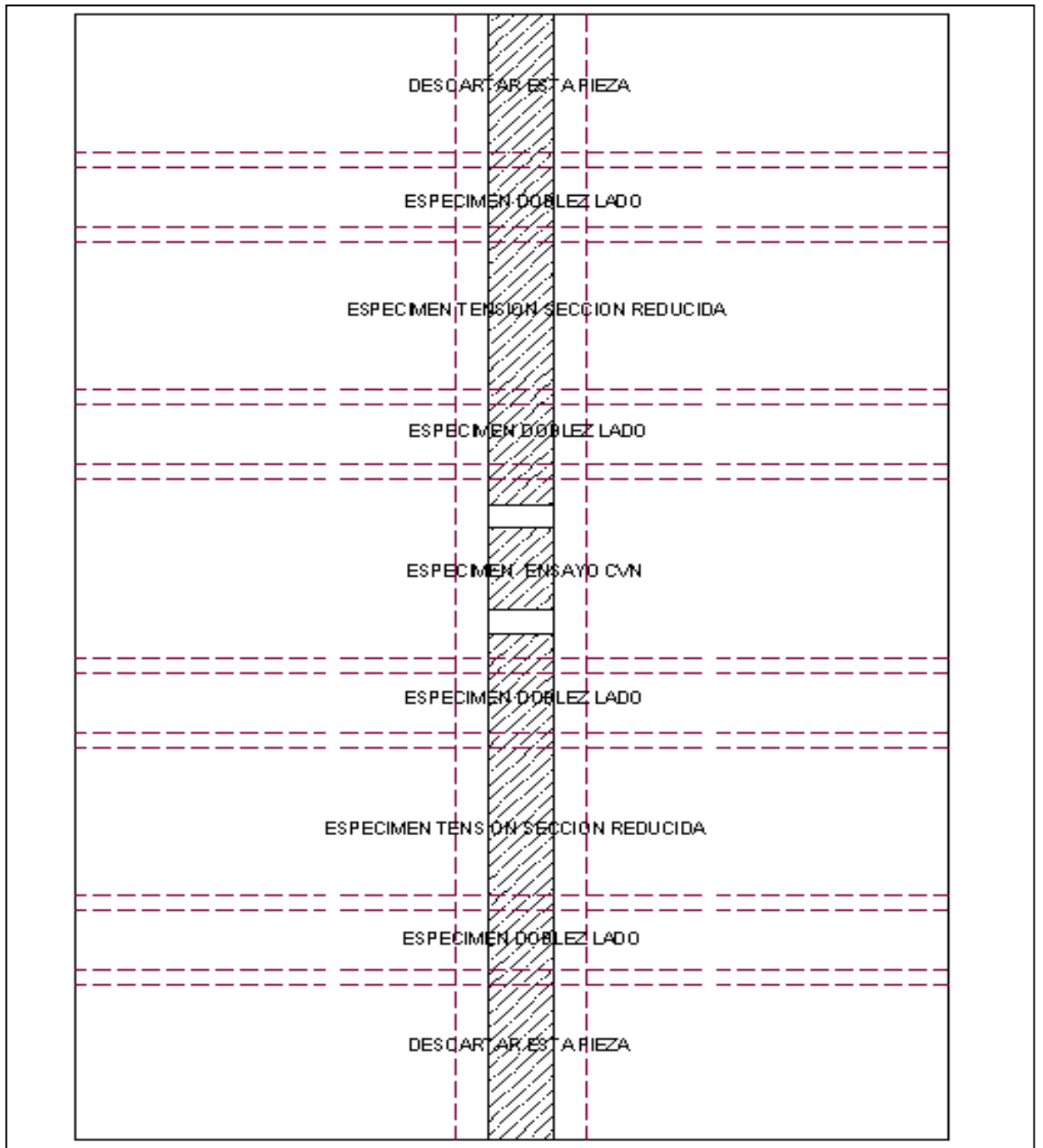


Figura 4. 6: Distribución de probetas dentro del cupón soldado

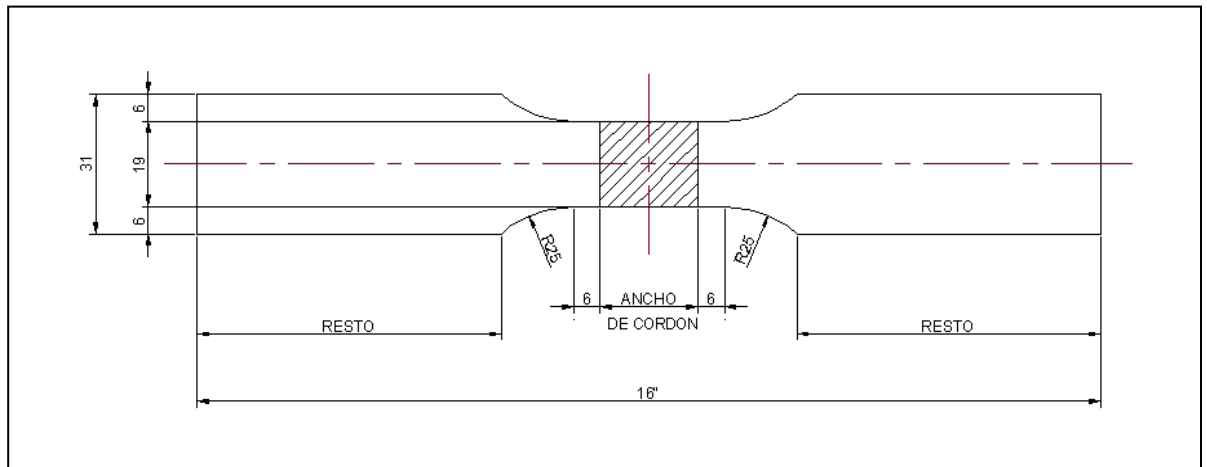


Figura 4. 7: Dimensiones de probeta de Sección Reducida

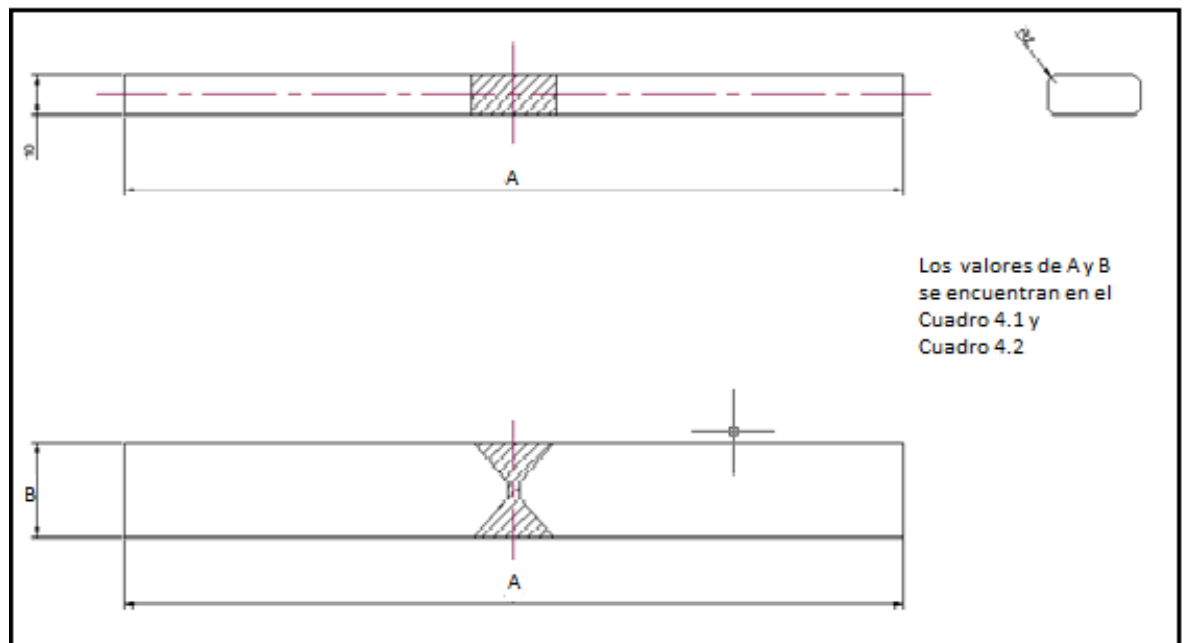


Figura 4. 8: Dimensiones de probeta de Dobles de Lado

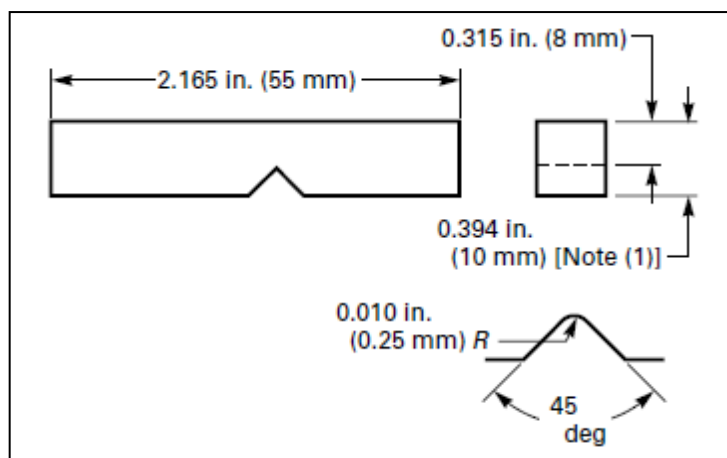


Figura 4. 9: Dimensión de Probeta de Impacto

4.14 Resultados Obtenidos de Pruebas

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Católica del Perú, para ambos procesos de soldadura (SAW y GMAW), cuyos resultados se presenta.

4.14.1 Resultados de la prueba de Sección Reducida

Tabla 4. 2: Resultados de la pruebas de sección reducida para proceso SAW

Especimen de sección Reducida						Valor requerido	780 MPa Min
Marca espécimen	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga de rotura (KN)	Resistencia Máx. MPa	Tipo de falla/ubicación	Proceso
1A	19.90	15.9	316.2	258.9	819	Línea de fusión	SAW
1B	19.33	15.9	307.2	258.9	843	Línea de fusión	SAW
2A	19.50	15.2	297.2	244.9	824	Metal de aporte	SAW
2B	19.41	15.6	303.3	251.6	830	En la ZAC	SAW

Tabla 4. 3: Resultados de la pruebas de sección reducida para proceso GMAW

Espécimen de sección Reducida						Valor requerido	780 MPa Min
Marca espécimen	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga de rotura (KN)	Resistencia Máx. MPa	Tipo de falla/ubicación	Proceso
T1	19.06	13.24	252.6	205.0	812	Metal de aporte	GMAW
T2	19.03	13.22	251.6	208.6	829	En la ZAC	GMAW
T3	19.11	13.17	251.7	206.0	818	Metal de aporte	GMAW
T4	19.14	13.20	252.6	204.5	809	En la ZAC	GMAW

4.14.2 Resultado de Prueba de Dobles Guiado

Tabla 4. 4: Resultados de la pruebas de dobles Guiado para proceso SAW

Espécimen de 40mmx10mmx250mm			Diámetro de la Giga 63.5	
Marca del espécimen	Espécimen		Proceso SAW	
	Transversal	Longitudinal	Dirección de doblez	Resultado
DL-1	X		LADO	ACEPTABLE
DL-2	X		LADO	ACEPTABLE
DL-3	X		LADO	ACEPTABLE
DL-4	X		LADO	ACEPTABLE

Tabla 4. 5: Resultados de la pruebas de dobles Guiado para proceso GMAW

Espécimen de 40mmx10mmx250mm			Diámetro de la Giga 63.5	
Marca del espécimen	Espécimen		Proceso GMAW	
	Transversal	Longitudinal	Dirección de dobléz	Resultado
DL-1	X		LADO	ACEPTABLE
DL-2	X		LADO	ACEPTABLE
DL-3	X		LADO	ACEPTABLE
DL-4	X		LADO	ACEPTABLE

4.14.3 Resultado de Prueba de Impacto

Tabla 4. 6: Resultados de la pruebas de Impacto para proceso SAW

PROCESO		Valor requerido en Jouls		Individual	promedio
SAW				43	61
Espesor de 10x10x55		Energía adsorbida Joules		Expansión Lateral	resultado
Espécimen	T (°C)	Individual	Promedio		
MA-1	-20	120	102.7	1.49	Aceptable
MA-2	-20	90		1.16	Aceptable
MA-3	-20	98		1.17	Aceptable
ZAC-1	-20	193	181.7	1.97	Aceptable
ZAC-2	-20	159		1.54	Aceptable
ZAC-3	-20	193		1.80	Aceptable

Tabla 4. 7: Resultados de la pruebas de Impacto para proceso GMAW

PROCESO		Valor requerido en Jouls		Individual	promedio
GMAW				43	61
Espesor de 10x10x55		Energía adsorbida Joules		Expansión Lateral	resultado
Espécimen	T (°C)	Individual	Promedio		
MA-1	-20	111	117.0	1.41	Aceptable
MA-2	-20	120		1.70	Aceptable
MA-3	-20	120		1.40	Aceptable
ZAC-1	-20	148	146.3	1.61	Aceptable
ZAC-2	-20	160		1.73	Aceptable
ZAC-3	-20	131		1.61	Aceptable

4.14.4 Resultado de la prueba de Dureza

Tabla 4. 8: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso SAW-Muestra 1

SAW	Ubicación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muestra 1	Línea 1	279	282	232	323	252	254	236	251	273	272	225	281	284
	Línea 2	293	296	243	261	303	270	265	265	298	285	244	286	300
	Línea3	276	282	221	313	313	266	283	268	314	265	212	280	285

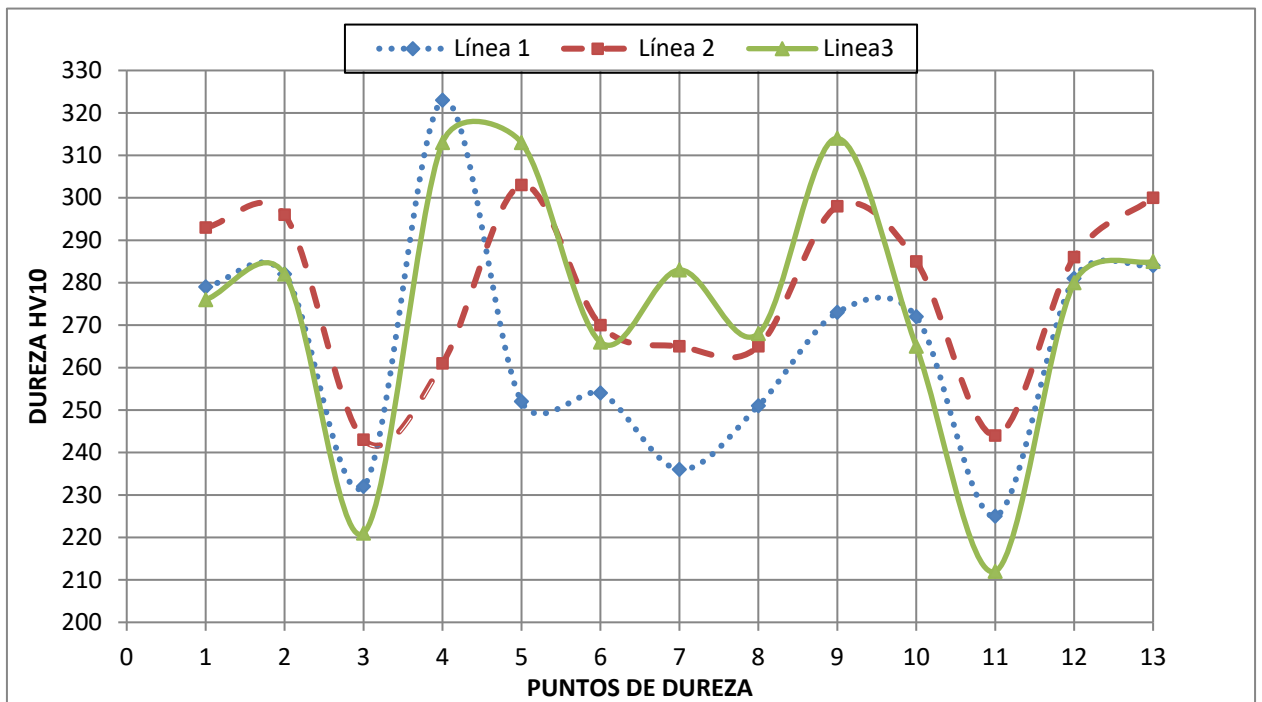


Figura 4. 10: Variación de dureza en Muestra N° 1 – Proceso SAW

Tabla 4. 9: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso SAW-Muestra 2

SAW	Ubicación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muestra 2	Línea 1	323	300	286	339	263	296	275	275	336	286	255	314	304
	Línea 2	296	302	273	246	303	276	286	273	271	266	256	292	286
	Línea 3	291	291	284	318	264	279	299	297	251	327	297	294	291

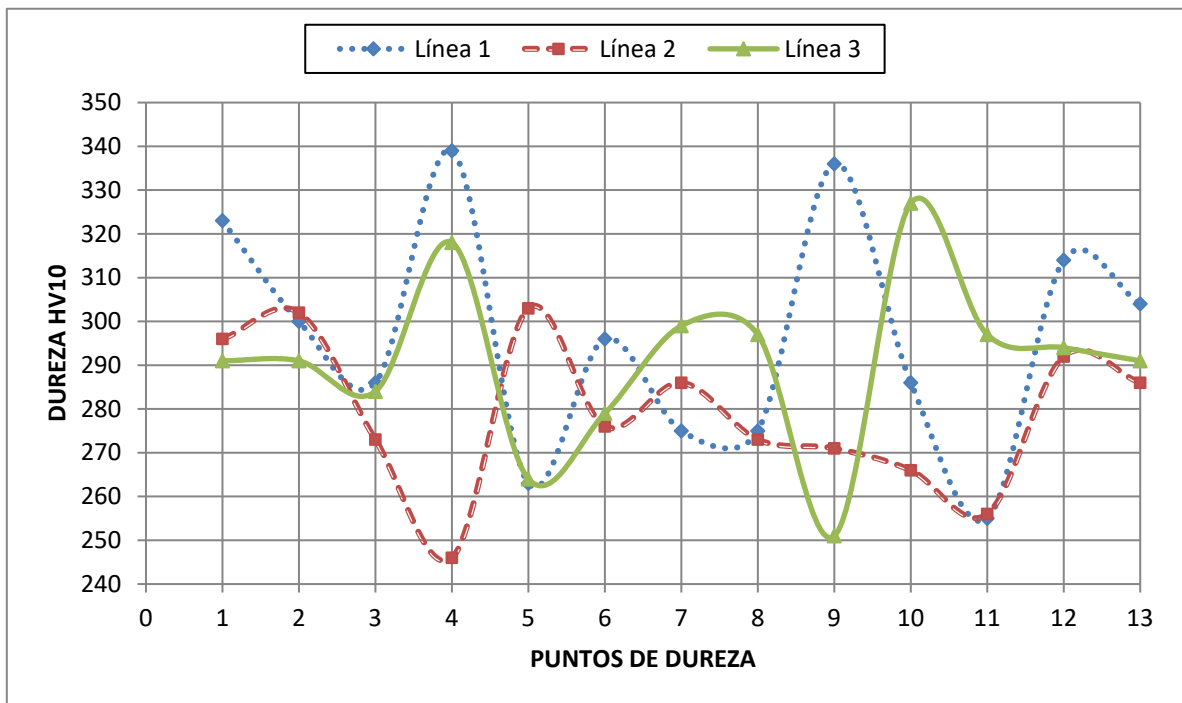
**Figura 4. 11:** Variación de dureza en Muestra N° 2 – Proceso SAW

Tabla 4. 10: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso GMAW-Muestra 1

GMAW	Ubicación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muestra 1	Línea 1	254	241	361	394	397	284	251	284	381	373	357	243	231
	Línea 2	248	239	346	385	380	292	271	300	394	394	366	274	274
	Línea3	266	270	267	332	340	272	286	253	392	378	309	268	269

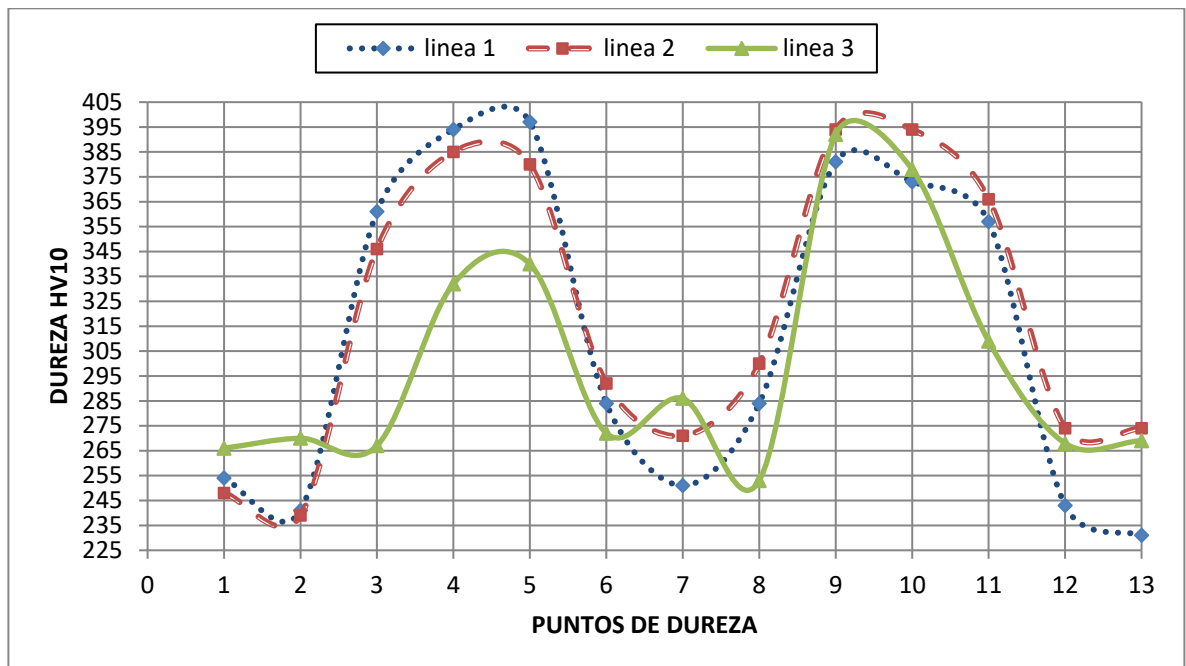
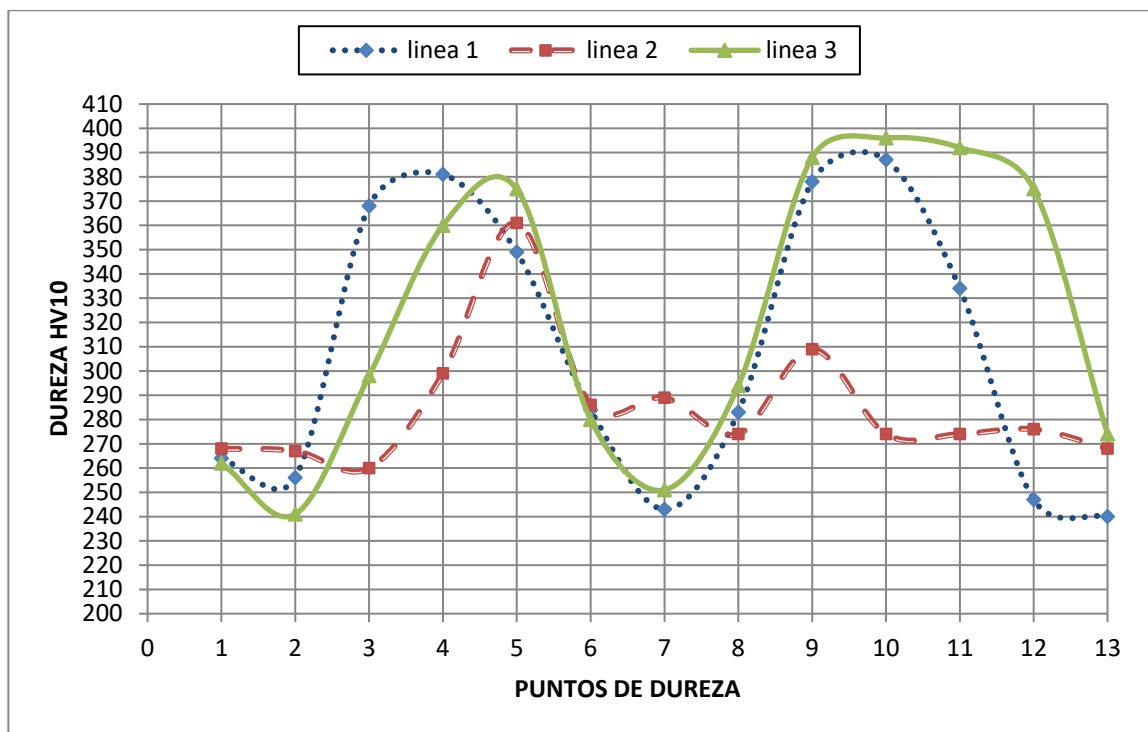
**Figura 4. 12:** Variación de dureza en Muestra N° 1 – Proceso GMAW

Tabla 4. 11: Resultados de la pruebas de Dureza para proceso GMAW-Muestra 2

GMAW	Ubicación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muestra 2	Línea 1	264	256	368	381	349	284	243	283	378	387	334	247	240
	Línea 2	268	267	260	299	361	286	289	274	309	274	274	276	268
	Línea 3	262	241	298	360	375	280	251	294	388	396	392	375	274

**Figura 4. 13:** Variación de dureza en Muestra N° 2 – Proceso GMAW

4.15 Análisis de resultados

1. Los valores de las probetas de sección reducida para ambos procesos superan el valor mínimo requerido de 780 MPa, para cada cupón se realizaron dos probetas debido al espesor del cupón de soldadura, esta alternativa es aceptada por el ASME SECCION IX 2010.
2. Las pruebas de dobles de lado se encontraban libre de defectos abiertos, por lo tanto son aceptados por el código ASME SECCION IX 2010.
3. Los valores de Impacto obtenidos en los seis especímenes superan el valor mínimo requerido como criterio de aceptación.
4. Comparando los valores del barrido de dureza en las líneas 1,2 y 3 para los dos procesos de soldadura se aprecia que no hay un ordenamiento similar para cada una, debido a que el calor aportado no es uniforme y se tuvieron ciclos térmicos diferentes.
5. El valor de temperatura de precalentamiento de 110°C determinado por el método de control de hidrogeno para el proceso SAW se encuentran dentro del rango de recomendado por SUMITOMO METAL STEEL, mientras que el valor de temperatura de pre-calentamiento para el proceso de soldadura GMAW se encuentra fuera del rango requerido.

4.16 Discusión de los Resultados

Se realizó pruebas no destructivas a los cupones de soldadura a pesar de que el código ASME SECCION IX no lo requería, estas pruebas se ejecutaron para verificar si los cupones de soldadura para cada uno de los procesos SAW Y GMAW se encontraban libre de fisuras, falta de fusión u cualquier otro defecto que afecte las propiedades mecánicas durante las pruebas destructivas. Estas pruebas no debieron realizarse debido a que quitan validez al código aplicado.

4.17 Elaboración del Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura

Después de realizados todos los ensayos destructivos se procede a analizar los resultados obtenidos y a aplicar los criterios de aceptación que el código ASME SECCION IX establece para cada uno de los procedimientos de soldadura elaborados.

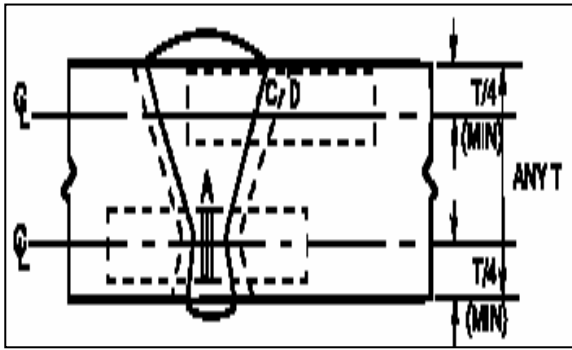
Con todos los resultados de los ensayos realizados se procede a elaborar el registro de calificación del procedimiento (PQR), que es el formato que da validez al procedimiento de soldadura (WPS) y nos permite poder utilizar dicho procedimiento de soldadura en la fabricación de las tuberías forzadas tipo penstock.

A continuación se demuestra los registros de calificación de procedimientos de soldadura (PQR) elaborados para cada uno de los procesos de soldadura propuesto (SAW y GMAW).

Cuadro 4. 1: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) – SAW

Nombre de la compañía: -----	Por: Fernando Paredes H.
PQR N°: PQR-45	Fecha: 20-08-2013
Para Calificar WPS N°: WPS-60	Rev.: 0
Proceso(s) de soldadura: SAW	Tipo: SEMIAUTOMATICO
JUNTA (QW-402) Butt Joint – Double V Groove Weld	
METAL BASE (QW-403)	TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)
Especificación material SUMITEN 780 S // SUMITEN 780 S	Temperatura 150°C – 200°C
Tipo o grado ---	Tiempo 2 HRS
P – No. --- a P – No. ---	Otro Post-heating a una temperatura entre 150°C - 200°C, por 2 horas para retirar el hidrógeno de la zona de soldadura.
Espesor del cupón de ensayo 40 mm	GAS (QW-408)
Diámetro del cupón de ensayo ---	Composición Porcentual
Otro Acero no listado por ASME Sección IX-2010	Gas(es) Mezcla Flujo
Solo califica al mismo acero no listado.	Protección --- --- ---
METAL DE APORTE (QW-404)	Arrastre --- --- ---
Especificación SFA 5.23	Respaldo --- --- ---
Clasificación AWS F11A6 - EG	CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)
Metal de aporte F – No. F6	Corriente VER TABLA # 4.12
Análisis de metal depositado A – No. A12	Polaridad VER TABLA # 4.12
Tamaño de metal de aporte: 3.25 mm	Amperaje VER TABLA # 4.12 Voltaje VER TABLA # 4.12
Nombre Comercial OP121TT/W-OE-SD3 2.5NiMoCr	Tamaño de electrodo de tungsteno: ---
Espesor de metal de soldadura 40 mm	Stick Out ---
POSICION (QW-405)	TECNICA (QW-410)
Posición de ranura PLANA	Velocidad de avance VER TABLA # 4.12
Progresión de soldadura (asc, desc) ---	Pasada ancha o angosta Recto
Otro ---	Progresión ---
---	Pase simple o múltiple MULTIPLE
PRECALENTAMIENTO (QW-406)	Electrodo simple o múltiple SIMPLE
Temperatura de precalentamiento 110°C – 120°C	Otro Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el calor aportado.
Temperatura entre pases 150°C	

Cuadro 4.1: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) – SAW (Cont)

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS						
TECNICA	RESULTADO		REPORTE / REALIZADO			
	Conforme	No Conforme				
Inspección Visual VT	x	----	CWI-N°9989041 Felipe Yáñez Coz.			
Partículas Magnéticas MT	x	----	QUALITES N°04-07 por Carlos Vilca E. Nivel II SNT-TC-1A			
Radiografía RT	x	----	QUALITES N°10-07 por Carlos Vilca E. Nivel II SNT-TC-1A			
Ultrasonido UT	x	----	QUALITES N°01-07 por Carlos Vilca E. Nivel II SNT-TC-1A			
ENSAYOS DESTRUCTIVOS						
PRUEBA DE TRACCION realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP						Fecha: 23-10-2007
Especimen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)
						780 MPa
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ANCHO (mm)	ESPEJOR (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA ROTURA TOTAL (KN)	RESISTENCIA MÁX.(MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN
1A	19.90	15.9	316.2	258.9	819	Rompió en Línea de Fusión
1B	19.33	15.9	307.2	258.9	843	Rompió en Línea de Fusión
2A	19.50	15.2	297.2	244.9	824	Rompió en el Metal de Aporte
2B	19.41	19.41	303.0	251.6	830	Rompió en ZAC
ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO realizado por Laboratorio de Ensayo Mecanico EXSA						FECHA: 23-10-2007
Especimen de 34mm. x 10 mm. x 250 mm.					Diámetro de la Giga 63.5 mm	
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ESPECIMEN		DIRECCION DE DOBLEZ	RESULTADO		
	TRASVERSAL	LONGITUDINAL				
DL-1	X	---	LADO	ACEPTABLE		
DL-2	X	---	LADO	ACEPTABLE		
DL-3	X	---	LADO	ACEPTABLE		
DL-4	X	---	LADO	ACEPTABLE		
ENSAYO DE IMPACTO realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP						Fecha: 23-10-2007
Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.						
					VALOR REQUERIDO JOULES	INDIVIDUAL
						43
						PROMEDIO
						61
ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA JOULES		EXPANSION LATERAL	RESULTADO	
		Individual	Promedio			
MA-1	-20°C	120	102.7	1.49	Aceptable	
MA-2	-20°C	90		1.16	Aceptable	
MA-3	-20°C	98		1.17	Aceptable	
ZAC-4	-20°C	193	181.7	1.97	Aceptable	
ZAC-5	-20°C	159		1.54	Aceptable	
ZAC-6	-20°C	193		1.80	Aceptable	
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE PROBETAS PARA IMPACTO						
 <p>El diagrama muestra una sección transversal de una soldadura con una línea de fusión y metal de aporte. Se indican las ubicaciones de las probetas de impacto (A) y las dimensiones de las zonas de prueba (T/4 y T/4 (MIN)).</p>						

Cuadro 4.1: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) – SAW (cont)

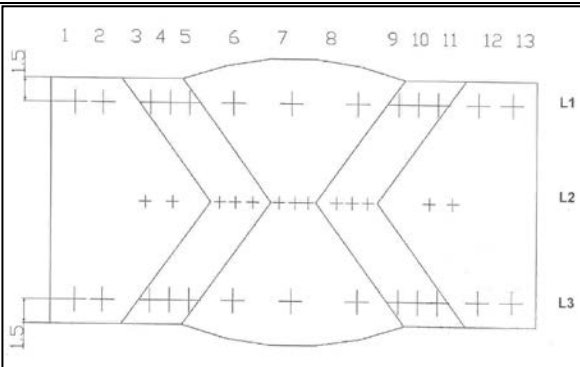
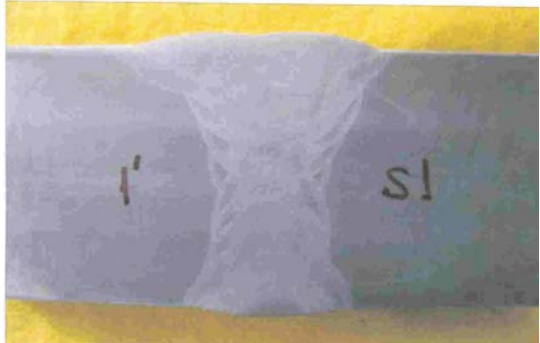
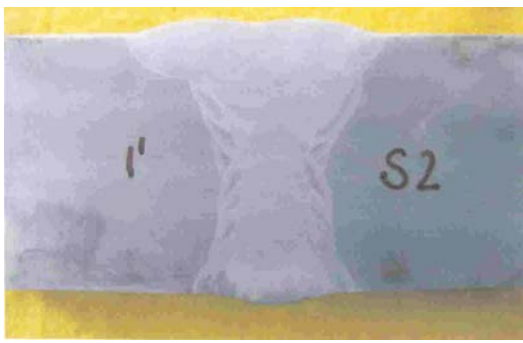
ENSAYO DE DUREZA realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP		FECHA: 18-12-2007	
Tipo : Vinckers HV10		Máximo Valor Aceptable : 400 HV	
PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS		UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
		Muestra S1 – L1 Línea Superior	279, 282, 232, 323, 252, 254, 236, 251, 273, 272, 225, 281, 284.
		Muestra S1 – L2 Línea Central	293, 296, 243, 261, 303, 270, 265, 265, 298, 285, 244, 286, 300.
		Muestra S1 – L3 Línea Inferior	276, 282, 221, 313, 313, 266, 283, 268, 314, 265, 212, 280, 285.
		Muestra S2 – L1 Línea Superior	323, 300, 286, 339, 263, 296, 275, 275, 336, 286, 255, 314, 304
		Muestra S2 – L2 Línea Central	296, 302, 273, 246, 303, 276, 286, 273, 271, 266, 256, 292, 286
		Muestra S2 – L3 Línea Inferior	291, 291, 284, 364, 279, 299, 297, 251, 327, 297, 294, 291.
ENSAYO MACROGRAFICO realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP		FECHA: 23-10-2007	
Agente de ataque : Nital 10%		Magnificación: 10x	
ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA		ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	
			
RESULTADO: ACEPTABLE		RESULTADO: ACEPTABLE	
OTROS ENSAYOS: -----			
NOMBRE DE SOLDADOR: José Francisco Coveñas Castro		ESTAMPA No. S-259	
LISTA DE DOCUMENTOS REFERENCIALES:			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reporte de Partículas Magnéticas: N° 04-07, por Qualitets Internacional Service S.A.C ➤ Reporte Radiográfico: N° 10-07, por Qualites Internacional Service S.A.C ➤ Reporte de Ultrasonido: N° 01-07, por Qualites Internacional Service S.A.C ➤ Reporte de Ensayo de Tracción: N° MAT-OCT-0676/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de DobleZ : N° CTSOL-D0140-2007, por Laboratorio de Ensayos Mecánicos EXSA. ➤ Reporte de Ensayo de Impacto: MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de Dureza: MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de Macrografico : MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP 			
Certifico que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimiento de la Sección IX del Código ASME-2007			

Tabla 4. 12: Parámetros De Soldadura

PASE	Proceso	Metal de Aporte		Corriente			Voltaje	Velocidad de Avance (mm / min)	Calor Aportado (KJ)	
		Electrodo	∅ (mm.)	Tipo y Polaridad	Amperaje					
1	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	500	30	312.9	2.65	2.88
2	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	500	30	335.2	2.65	2.88
3	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	336.8	2.65	2.76
4	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	359.5	2.65	2.76
5	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	367.8	2.65	2.76
6	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	347.8	2.65	2.76
7	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	343.1	2.65	2.76
8	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	336.0	2.61	2.72
9	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	333.3	2.61	2.72
10	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	326.5	2.65	2.76
11	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	323.4	2.65	2.76
12	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	316.3	2.65	2.76
13	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	310.4	2.65	2.76
14	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	349.8	2.65	2.76
15	SAW	F11A6-EG	3.25	DCEP	460	480	30	342.9	2.65	2.76

Cuadro 4. 2: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR)-GMAW

Nombre de la compañía: -----	Por: Fernando Paredes H.
PQR N°: PQR-50	Fecha: 20-08-2013
Para Calificar WPS N°: WPS-64	Rev.: 0
Proceso(s) de soldadura: GMAW	Tipo: SEMIAUTOMATICO
JUNTA (QW-402) Butt Joint – Double V Groove Weld	
METAL BASE (QW-403)	TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)
Especificación material SUMITEN 780 S // SUMITEN 780 S	Temperatura 150°C – 200°C
Tipo o grado ---	Tiempo 2 HRS
P – No. --- a P – No. ---	Otro Post-heating a una temperatura entre 150°C - 200°C, por 2 horas para retirar el hidrógeno de la zona de soldadura.
Espesor del cupón de ensayo 34 mm	GAS (QW-408)
Diámetro del cupón de ensayo ---	Composición Porcentual
Otro Acero no listado por ASME Sección IX-2010 Solo califica al mismo acero no listado.	Gas(es) Mezcla Flujo
	Protección Ar/CO2 90/10 35-40 CFH
	Arrastre --- --- ---
	Respaldo --- --- ---
METAL DE APORTE (QW-404)	CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)
Especificación SFA 5.28	Corriente VER TABLA 4.13
Clasificación AWS ER –100S-G	Polaridad VER TABLA 4.13
Metal de aporte F – No. F6	Amperaje VER TABLA 4.13 Voltaje VER TABLA 4.13
Análisis de metal depositado A – No. A12	Tamaño de electrodo de tungsteno: ---
Tamaño de metal de aporte: 1.1 mm	Stick Out 12 – 19mm
Nombre Comercial LINCOLN SUPERARC LA-100	
Espesor de metal de soldadura 34 mm	
POSICION (QW-405)	TECNICA (QW-410)
Posición de ranura PLANA	Velocidad de avance VER TABLA 4.13
Progresión de soldadura (asc, desc) ---	Pasada ancha o angosta Angosta
Otro ---	Progresión Derecha a Izquierda
	Pase simple o múltiple MULTIPLE
	Electrodo simple o múltiple SIMPLE
PRECALENTAMIENTO (QW-406)	Otro Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el calor aportado.
Temperatura de precalentamiento 80°C – 110°C	
Temperatura entre pases 80°C -110°C	

Cuadro 4. 2: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR)-GMAW (Cont)

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS							
TECNICA		RESULTADO			REPORTE / REALIZADO		
		Conforme	No Conforme				
Inspección Visual VT		x	----		CWI-N°9989041 Felipe Yáñez Coz.		
Partículas Magnéticas MT		x	----		Full Quality N° MTC.002-11-07		
Radiografía RT		x	----		Full Quality N°RTC002-12-07		
Ultrasonido UT		x	----		Full Quality INF. USC N° 02.12.07		
ENSAYOS DESTRUCTIVOS							
PRUEBA DE TRACCION realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP						Fecha: 17-12-2007	
Especimen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)	
						780 MPa	
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA ROTURA TOTAL (KN)	RESISTENCIA MÁX.(MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN	
T1	19.08	13.24	252.6	205.0	812	Rompió en el Metal de Aporte	
T2	19.03	13.22	251.6	208.6	829	Rompió en ZAC	
T3	19.11	13.17	251.7	206.0	818	Rompió en el Metal de Aporte	
T4	19.14	13.20	252.6	204.5	809	Rompió en ZAC	
ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO realizado por: Laboratorio de Ensayos						FECHA: 04-01-2008	
Especimen de 34mm. x 10 mm. x 250 mm.					Diámetro de la Giga 63.5 mm		
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ESPECIMEN			DIRECCION DE DOBLEZ	RESULTADO		
	TRASVERSAL	LONGITUDINAL					
DL-1	X	---		LADO	ACEPTABLE		
DL-2	X	---		LADO	ACEPTABLE		
DL-3	X	---		LADO	ACEPTABLE		
DL-4	X	---		LADO	ACEPTABLE		
ENSAYO DE IMPACTO realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP						Fecha: 19-12-2007	
Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.							
				VALOR REQUERIDO JOULES	INDIVIDUAL	PROMEDIO	
					43	61	
ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA JOULES			EXPANSION LATERAL	RESULTADO	
		Individual	Promedio				
MA-1	-20°C	111	117.0		1.41	Aceptable	
MA-2	-20°C	120					
MA-3	-20°C	120					
ZAC-4	-20°C	148	146.3		1.61	Aceptable	
ZAC-5	-20°C	160					
ZAC-6	-20°C	131					
						1.73	Aceptable
						1.61	Aceptable
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE PROBETAS PARA IMPACTO							
<p>El diagrama muestra un perfil de una soldadura con una zona de soldadura y una zona de metal de aporte. Se indican las ubicaciones de las probetas de impacto (I, II, III) y las dimensiones T/4 (MIN) y ANYT.</p>							

Cuadro 4. 2: Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR)-GMAW (Cont)

ENSAYO DE DUREZA realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP		FECHA: 18-12-2007	
Tipo : Vinckers HV10		Máximo Valor Aceptable : 400 HV	
PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS		UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
		Muestra S1 – L1 Línea Superior	254, 241, 361, 394, 397, 284, 251, 284, 381, 373, 357, 243, 231.
		Muestra S1 – L2 Línea Central	248, 239, 336, 385, 380, 292, 271, 300, 394, 394, 366, 274, 274.
		Muestra S1 – L3 Línea Inferior	266, 270, 267, 332, 340, 272, 286, 253, 392, 378, 309, 268, 269.
		Muestra S2 – L1 Línea Superior	264, 256, 368, 381, 349, 284, 243, 283, 378, 387, 334, 247, 240.
		Muestra S2 – L2 Línea Central	268, 267, 260, 299, 361, 286, 289, 274, 309, 274, 274, 276, 268.
		Muestra S2 – L3 Línea Inferior	267, 241, 298, 360, 375, 280, 251, 294, 388, 396, 392, 375, 274.
ENSAYO MACROGRAFICO realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP		FECHA: 19-12-2007	
Agente de ataque : Nital 10%		Magnificación: 10x	
ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA		ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	
RESULTADO: ACEPTABLE		RESULTADO: ACEPTABLE	
OTROS ENSAYOS: -----			
NOMBRE DE SOLDADOR: Espinoza Barbaran, Gonzalo		ESTAMPA No. S-245	
LISTA DE DOCUMENTOS REFERENCIALES:			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reporte de Partículas Magnéticas: Full Quality N° MTC.002-12-07. ➤ Reporte Radiográfico: Full Quality N°RTC002-12-07. ➤ Reporte de Ultrasonido: Full Quality INF. USC N° 02.12.07. ➤ Reporte de Ensayo de Tracción: N° MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de Dobleces : N° FOR.ITC/M03-01-01, por IMECON S.A. ➤ Reporte de Ensayo de Impacto: MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de Dureza: MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. ➤ Reporte de Ensayo de Macrográfico : MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales PUCP. 			
Certifico que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME-2010			

Tabla 4. 13: Parámetros de Soldadura

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de Avance (mm/min)	Calor Aportado (KJ)
		Clase	Ø (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje			
1	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	160 – 200	19.0	212.7	1.07
2	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	265 – 280	27.5	351.7	1.31
3	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	263 – 268	28.0	285.8	1.58
4	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	270 – 290	28.0	334.5	1.47
5	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	270 – 288	28.0	442.5	1.09
6	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	250 – 285	28.0	326.6	1.47
7	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	250 – 275	28.0	274.3	1.68
8	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	250 – 275	28.0	228.6	2.02
9	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	270 – 280	28.1	428.6	1.10
10	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	252 - 280	28.0	391.9	1.20
11	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	270 – 280	27.9	397.6	1.18
12	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	260 – 285	27.9	391.9	1.22
13	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	275 – 285	27.9	403.4	1.18
14	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	290 – 300	27.9	442.5	1.14
15	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	275 – 295	27.9	409.4	1.21
16	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	280 – 300	27.9	435.4	1.15
17	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	285 – 295	27.9	457.2	1.08
18	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	260 - 285	27.9	315.3	1.51
19	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	275 – 295	27.9	397.6	1.24
20	GMAW	ER-100S-G	1.1	DCEP	270 - 285	28.0	375.8	1.27

CAPITULO V

ANALISIS DE COSTOS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

5.1 Costos de Soldeo

La estimación de costos es una predicción de los gastos que puede suponer la fabricación de un producto. En esta estimación se pueden incluir solamente los costos de fabricación, aunque normalmente se añaden otros elementos a los costos de fabricación para obtener el precio de venta, como son: gastos de administración, de manejo, de almacenaje y los beneficios. Los gastos adicionales a los costos de fabricación se les denominan generalmente “gastos generales” o “gastos de administración”.

La estimación de costos es una predicción o análisis de todos los factores involucrados en la fabricación de un determinado producto. La estimación de costos predice los costos probables para fabricar nuevos productos o adoptar nuevos procesos y operaciones.

Las variables normalmente consideradas para obtener los costos de soldeo son las siguientes:

- Costos de la mano de obra.
- Gastos generales.
- Costo del metal de aporte.
- Costo del gas de protección.
- Costo del fundente.
- Costo de la energía eléctrica.
- Costo de la preparación de bordes.
- Costos del acabado de la soldadura.
- Rendimiento de deposición
- Consumo de fundente.
- Tiempo de soldadura.
- Factor de operación.

5.2 Elementos de los Costos de Soldeo

Todos los sistemas de costo incluyen los mismos elementos básicos: mano de obra, materiales y gastos generales. Para obtener el costo durante la soldadura, el tiempo requerido para efectuarla se utiliza para determinar el costo de la mano de obra, al cual se añade los costos de materiales y los generales.

El procedimiento de soldeo es el punto inicial para la estimación de sus costos. El procedimiento define las variables y facilita una base para su repetitividad y consistencia durante la producción. El procedimiento de soldeo facilita los datos básicos necesarios para calcular el costo de la soldadura.

5.3 Costos de la Mano de Obra

Estos costos se basan en el tiempo necesario para efectuar todos los pasos requeridos durante la fabricación de un conjunto soldado. Estos tiempos pueden agruparse en: tiempo de arco, tiempo de manejo y tiempos varios.

El **tiempo de arco** depende de factores controlados por la fuente de energía y asociados al equipamiento disponible, tales como: velocidad de alimentación del consumible (manual o mecanizada), tensión del arco, corriente de soldeo, velocidad de trabajo, tipo de corriente y polaridad.

El **tiempo de manejo** incluye todas las actividades en el sitio de trabajo, como son: recogida de piezas, situación de las piezas en sus utillajes, amarre y posicionado de las piezas antes y durante el soldeo y, finalmente, retirada del conjunto soldado.

Los **tiempos varios** incluyen aquellas actividades no repetitivas que es difícil medir, pero que suponen un costo. En estos tiempos se incluyen tareas tales como: marcado, aplicación de productos antisalpicaduras, punteado de las chapas testigo, colocación de placas soporte, movimientos para posicionar el conjunto entre pasadas y cualquier variable de tiempo que no esté directamente involucrada en la realización de la soldadura. y tiempos varios.

$$CMO = \frac{LC \times CHO}{V \times FO} \quad (5.1)$$

CMO: Costo de mano de obra (\$)

LC: Longitud total del cordón (m)

CHO: Costo de hora hombre (US\$/h)

V: Velocidad (m/h)

FO: Factor de Operación

5.4 Costos de los Materiales

Estos costos cubren aquellos materiales que se consumen en el sitio de trabajo mientras se efectúa la soldadura. En aquellos procesos en los que se deposita material de aportación, la cantidad de metal depositado puede ser la base adecuada para determinar los costos de materiales. Estos costos reflejarán el rendimiento de deposición, que es la relación entre el peso de metal de soldadura depositado y el peso del consumible empleado. El rendimiento de deposición disminuye como resultado de pérdidas, tales como: colillas o puntas de electrodos, vaporización de metales en el arco, transformación en escoria de algunos componentes de los alambres tubulares y salpicaduras. Rendimientos de deposición típicos para diferentes electrodos y procesos se dan a continuación en la **Tabla 5.1**

Tabla 5. 1: Rendimiento de deposición

Tipo de Material de Aporte y proceso	Rendimiento de deposición
SMAW	55 al 65
SAW	95 al 99
GMAW	90 al 95
Electro escoria	95 al 95
FCAW	80 al 85

5.5 Gastos generales

En este apartado se incluyen los costos de diferentes partidas o actividades, en el taller o en la oficina, que no pueden asignarse directamente a una determinada operación de soldeo. Estos costos se distribuyen mediante prorrateo entre todos los trabajos efectuados por un taller o departamento. Normalmente, los factores a considerar para la determinación de estos costos son: Salarios de directores, supervisores, inspectores, personal de mantenimiento y otros que no puedan cargarse directamente a un trabajo de soldeo específico, etc.

5.6 Factor de Operación

El factor de operación, o ciclo de trabajo en soldeo por arco, es el porcentaje del tiempo de arco real durante un tiempo establecido, este tiempo puede ser un minuto, una hora, una jornada de ocho horas o cualquier otro intervalo. Cuanto mayor sea el porcentaje de tiempo de arco (factor de operación), mayor será la cantidad de metal de soldadura depositado y más elevado el rendimiento de la operación de soldeo.

Otras actividades que el soldador u operador de máquina tenga que efectuar, tales como limpieza de las piezas, posicionado en los utillajes o punteado, serán la causa de un factor de operación bajo.

Un factor de operación alto puede no ser indicativo de costos bajos, ya que el procedimiento de soldeo puede requerir un mayor tiempo de arco que el necesario. Por ejemplo, puede estar especificado un electrodo pequeño cuando podría utilizarse otro de mayor dimensión, o una preparación de gran sección cuando otra de menor sección podría ser suficiente.

El factor de operación es un parámetro que debe ser siempre lo más alto posible. El soldador es el que determina el aspecto y la calidad de la soldadura, por lo tanto cualquier obstáculo que le moleste durante su actividad debe ser eliminado. El trabajo se debe planificar y posicionar para disminuir al máximo el esfuerzo físico y para asegurar la seguridad y confort durante la operación de soldeo.

El cambio de la posición vertical o bajo techo a la posición plana, puede, por ejemplo, aumentar significativamente la velocidad de soldeo. Las soldaduras de pasadas únicas sobre chapas pueden efectuarse con velocidades máximas cuando la unión está en posición plana con eje de la soldadura inclinado. Una inclinación de 10° puede incrementar la velocidad de soldeo hasta en un 50%.

Un factor de operación es mayor si se utilizan posicionadores y accesorios, así como procesos de soldeo semiautomático o automático en los que el soldador, u operador de máquina, no efectúa tareas como retirada de la escoria y cambios de electrodos.

Tabla 5. 2: Factor de Operación

Métodos de Soldeo	Limites de Factor de Operación (%)
Manual	30 a 50
Semi automático	10 a 60
Mecanizado	40 a 90
Automático	50 a 100

Puede resultar económico proporcionar al soldador un ayudante que le prepare el trabajo. Cada operación que el soldador tiene que efectuar, distinta de la ejecución de la soldadura, disminuye el tiempo de arco y, por lo tanto, el factor de operación.

5.7 Determinación del Costos de los Materiales

Los datos normalizados para los costos de los metales de aportación se basan en la cantidad de metal depositado por unidad de longitud de soldadura, o por unidad fabricada en el caso de conjuntos pequeños.

Cada diseño de una unión que requiere la adición de metal de aporte, tiene una sección geométrica transversal. Despreciando el exceso de material, el área de la sección transversal de una unión soldada puede dividirse, aproximadamente, en una o más áreas geométrica sencillas, tales como rectángulos, triángulos o segmentos de un círculo. El área del metal de exceso sobre la cara de la soldadura, puede calcularse o estimarse como un porcentaje de área total, por ejemplo: 10% para preparación en V y en ángulo y 20% para preparaciones en X.

El peso del metal depositado por unidad de longitud puede calcularse multiplicando la unidad de volumen por la densidad del metal mediante la fórmula:

$$PMAN = \frac{PMSD}{R} \quad (5.2)$$

PMAN: Peso de Metal de aporte necesario (Kg)

PMSD: Peso de Metal de Soldadura depositado (Kg)

R: Rendimiento de metal de soldadura (%)

Cuando se utilizan fundentes, su costo debe incluirse en los costos de materiales. Este costo puede relacionarse, normalmente, con el peso de metal de aporte depositado mediante una relación denominada "relación del fundente". En arco sumergido se utiliza normalmente un kilo de fundente por cada kilo de electrodo depositado, lo que supone una relación de fundente de uno. Si se necesitasen datos precios, es necesario efectuar pruebas de soldadura.

El costo de los gases de protección está relacionado con los kilogramos de metal de aporte depositados

CONCLUSIONES

1. Considerando que los resultados de las pruebas destructivas son aceptables por el código ASME SECCION IX 2010, se recomienda este código como estándar para poder desarrollar Procedimientos de Soldadura (WPS)
2. Considerando los resultados de las pruebas destructivas son aceptables por el código ASME SECCION IX, se determina que los valores de temperatura de precalentamiento establecidas en los Procedimientos de Soldadura (WPS) son aceptables quedando garantizada la sanidad de la unión soldada para las fabricaciones de las tuberías forzadas.
3. Los valores de prueba de impacto superan el valor promedio establecido de 61J requerido. En conclusión las tuberías forzadas fabricadas con los procedimientos de soldadura garantizan las condiciones de diseño.
4. Considerando que los resultados de pruebas mecánicas son aceptables se concluye que los metales de aporte Superarc L-100 y OP121TTW son adecuado para realizar los procesos de soldadura GMAW y SAW.
5. El método de control de hidrogeno establecido por el AWS D1.1 2010 es recomendable para determinar la temperatura de precalentamiento y de interpase durante la soldadura para el acero SUMITEN 780S

BIBLIOGRAFIA

1. CODIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL AWS D1.1/D1.1M:2010.
2. DR. FOSCA PASTOR, CARLOS. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, Cuarta Edición 2003.
3. ESTÁNDAR SPECIFICATION FOR PRESSURE VESSEL PLATES, ALLOY STEEL, HIGH – STRENGTH, QUENCHED AND TEMPERED, ASTM A 517/A517M – 93
4. HERNANDEZ RISCO, GERMAN, Factores Económicos de Productividad, Tema 4.8, Curso de Especialización en Ingeniería de Soldadura INGESOLD – PUCP.
5. MANUAL SUMITOMO METALS, STEEL PLATES.
6. PORTALES GARCIA, ANTONIO, Estructura de las uniones soldadas, Tema 2.7, Curso de Especialización en Ingeniería de Soldadura INGESOLD – PUCP.
7. REINA GOMEZ, MANUEL, Aceros Microaleados de Grano Fino, Tema 2.9, Curso de Especialización en Ingeniería de Soldadura INGESOLD – PUCP.
8. STOJAN SEDMAK, ALEKSANDAR SEDMAK, Integritet Cevovoda Hidroelektrane Integrity of Penstock of Hidroelectric Powerplant, Volume 5 – 2005.
9. 2010 ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE IX, QUALIFICATION STANDAR FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURE, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS.
10. 2010 ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE VIII, DIVISION 1.

ANEXOS

ANEXOS I:

CERTIFICADO DE CALIDAD DE UNA ACERO SUMITEN 780S



住友金属工業株式会社 鹿島製鉄所
〒314-0014 茨城県鹿嶋市大字光3番地
SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.
KASHIMA STEEL WORKS
3 Hikari Kashima Ibaraki 314-0014 Japan

検査証明書
INSPECTION CERTIFICATE

証明書番号 : E3991-001 Date: 2007-5-31
Certificate No. Ship No.:
船番 : 091037B173412
需要家管理番号 Order No.: 100-OSB-C00004
注文者 : MITSUI AND CO., LTD.
Shipper:
需要家 : COMPANIA ELECTRICA EL PLATANAL S.A.
Customer:
規格 : SUMITEN 780S

品名 :
Commodity: HOT ROLLED STEEL PLATE

製作番号 Our Ref. No.	需要家照合子番号 Order Item No.	板番号 Plate No.	数量 Quantity	製鋼番号 Cast No.	区分 Direction	引張試験 Tensile Test	曲げ試験 Bend Test	衝撃試験 IMPACT TEST		化学成分 Chemical Composition										題外 備考			
								試験温度 Test Temp.	試験速度 Test Rate	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V		Ti	Nb	Al	TA
YN3Z		451600201	17311317			CA 834 897	22GT L2 -20	1. 2. 3. AV.	7	X100	X1000	X100	X1000	X1000	X10000	X1000	X10000	X100	X10000	X100	X100	GG	
008840X1000X5000			1570	D03489T	CA	834 897	L2 -20	237 248 239 241 L13	4	10410	2	3	2	78	30	410						65	145326QT

備考 Remarks: TOTAL 1 1570KG
*1 : T.P. 5.0% STRAIN AGED 250°CXO.5HR.

CEQ=C+MN/6+(CR+MO+V)/5+(NI+CU)/15
PCM=C+SI/30+MN/20+CU/20+NI/60+CR/20+MO/15+V/10+5B

NOTES: The Material Tests are same results in case of the same Test Piece Number. The Chemical Compositions are same results in case of the same Cast Number.
 *1 試験片熱処理区分 Heat Treatment for Test Piece... 条件は備考欄へ表示、Conditions to be Stipulated in Remarks. *2 位置 Position... T: Top, B: Bottom.
 *4 端点距離 Gauge Length 平型試験片 Rectangular Tensile Test Specimen... 2: 200mm (8"), 5: 50mm (2"), 6: 5.65√A, 丸棒試験片 Round Tensile Test Specimen... A: 50mm (2"), D: 5D (5.65√A). *3 方向 Direction... L: Lengthwise, C: Crosswise, Z: Through Thickness.
 *5 降伏点又は耐力 Y.P. or S... P: Upper yield point, L.P.: Lower yield point. *2IS: 0.2% offset, *5TS: 0.5% extension-under-load.
 *7 分析区分 Analysis... L: Ladle, P: Product. *8 超音波試験 Ultrasonic Test... G: Good *9 寸法、外観、形状検査 Dimension, Visual, Shape Inspection... G: Good *6 曲げ試験 Bend Test... G: Good.
 *10 衝撃試験片形状 Impact Test Specimen <2MM V> 2: 10MMFULL *11 仕上り状態 Conditions of Supply *12 硬度試験位置 Hardness Test Position... SJIR: Surface, 1/2T: 1/2 t, 1/4T: 1/4 t.
 QT: QUENCHED & TEMPERED
 上記注文品は、備指定の規格または仕様に従って製造され、その要求事項を満足していることを証明します。

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED IN ACCORDANCE WITH THE STANDARDS AND SPECIFICATION SPECIFIED BY YOU AND THAT IT SATISFIES THE REQUIREMENTS.

F. Sumitomo
品質保証室
Manager of Quality Assurance Section

ANEXO II:

HOJA TÉCNICA DE METAL DE APORTE OP121TTW

Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neunbrunnenstrasse 50
8050 Zurich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch



Certificate

Customer:	Certificate No.:	Order No.:	Delivery Note:
EXSA S.A. R.U.C. 20100094135 ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 38,5 LURIN, LIMA 16 Peru	2000082010086410	4500005896 5684	7105291
Trade Name:	Date:	Quantity:	UM
OP 121 TT/W 25kg-Sa/EW 25 kg-Sa., bedruckt	12.06.07	Quantity: 3,000.00	KG Kilogramm
Standardized Designation:	Batch No.:		
PS-Pal. a 1000 kg, engl. verp. AWS/ASME Sec. II C / SFA 5.23: F9 AP8 EG-F3	528569		
In Combination with:	OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945		

We confirm following properties for the welding filler metals delivered by us.

Chemical Analysis:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,080	0,90	0,25	0,009	0,007	1,08	0,48	0,004	0,003	0,003

Mechanical Properties:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

Tensile Test according to EN 10002-1					Impact Strength Test according to EN 10045-1		
Test Temp.	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Z	Test Temp.	Impact Strength	heat Treatment
°C	ReH N/mm ²	N/mm ²	%	%	°C	Joule (Charpy-V)	
+20	563	623	23,4	70,8	-40	144,146,121 137	2h/680 °C/Furnance cooling

Welding flux analysis (%)

Certificate Type EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

MnO	TiO2	CaO	CaF2	Fe2O3	SiO2	Al2O3	MgO	P2O5
0,92	0,13	7,09	24,63	0,58	13,21	19,4	30,82	0,013

Apparent density: 1,023 kg/dm³

Grain analysis (%)

Grain Size (mm)				
< 0,315	0,315 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,6	> 1,6
0,8	13,5	41,5	40,9	3,2



Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neuhöfenstrasse 50
8050 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch

Page 2 of 2



Certificate No.: 2000082010086410

Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neuhbrunnenstrasse 50
8050 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch



Page 2 of 2

Certificate No.: 2000082010086410

Chemical Composition of wire (%) OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945

Certificate Type EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,144	0,97	0,14	0,007	0,009	1,22	0,49	0,001	0,001	0,003

Humidity / Diffusible hydrogen in the deposited weld metal

Certificate Type 2.2 EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

HD (ml/100g)	H2O - Content (%) / 950°C
1,3	0,032

Zürich, 12.06.2007

Quality Manager / Michael Reimann

This document has been issued by computer and needs no signature.

Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neyrbrunnenstrasse 50
8050 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch



Certificate

Customer:	Certificate No.:	Order No.:	Delivery Note:
EXSA S.A. R.U.C. 20100094135 ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 38,5 LURIN, LIMA 16 Peru	2000082010083837	4500005682	7104560
Trade Name:	Date:	Quantity	UM
OP 121 TT/W 25kg-ASa/EW 25,-kg AluSa., neutral	23.05.07	Quantity: 50.00	KG Kilogramm
Standardized Designation:			Batch No.:
PS-Pal. a 1000 kg, engl. verp. AWS/ASME Sec. II C / SFA 5.23: F9 AP8 EG-F3			528564

In Combination with: OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945

We confirm following properties for the welding filler metals delivered by us.

Chemical Analysis:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,080	0,90	0,25	0,009	0,007	1,08	0,48	0,004	0,003	0,003

Mechanical Properties:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

Tensile Test according to EN 10002-1					Impact Strength Test according to EN 10045-1		
Test Temp.	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Z	Test Temp.	Impact Strength	heat Treatment
°C	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	%	%	°C	Joule (Charpy-V)	
+20	563	623	23,4	70,8	-40	144,146,121 137	2h/680 °C/Furnace cooling

Welding flux analysis (%)

Certificate Type EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

MnO	TiO2	CaO	CaF2	Fe2O3	SiO2	Al2O3	MgO	P2O5
0,80	0,13	7,04	24,13	0,49	13,09	19,51	31,24	0,006

Apparent density: 1,047 kg/dm³

Grain analysis (%)

Grain Size (mm)				
< 0,315	0,315 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,6	> 1,6
1,3	24,9	50,9	21,9	0,9



Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neunbrunnenstrasse 50
8050 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch



Page 2 of 2

Certificate No.: 2000082010083837

Chemical Composition of wire (%) OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945

Certificate Type EN 10 204:2.2 OF THE PRODUCT

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,144	0,97	0,14	0,007	0,009	1,22	0,49	0,001	0,001	0,003

Humidity / Diffusible hydrogen in the deposited weld metal

Certificate Type 2.2 EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

HD (ml/100g)	H2O - Content (%) / 950°C
1,3	0,025

Zürich, 23.05.2007

Quality Manager / Michael Reimann

This document has been issued by computer and needs no signature.





Certificate of Quality

OERLIKON-WELDING LTD., ZURICH

DIN 50 049-2.2 / EN 10 204-2.2

EXSA S.A.
R.U.C. 20100094135
ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 38,5
LURIN, LIMA 16
PERU

Ihre Bestell-Nr./Your order no./V. commande no.
4500005680

vom/of/du 18.05.2007

Für die von uns gelieferten Schweißzusatzwerkstoffe bestätigen wir folgende Eigenschaften:
We confirm the following properties for this delivery of welding consumables:

Nous confirmons comme suit les propriétés des produits de soudage livrés:

Elektrode/Electrode/Electrode		Durchmesser/Diameter/Diamètre (mm)	1.2
Draht/Wire/Fil	CARBOFIL NiMoCr	Länge/Length/Longueur (mm)	
Quantity	30 KGS	Chargen-Nr./Batch no./Charge no.	649434

Chemische Analyse des Drahtes (%) Richtwerte
Chemical analysis of the wire (%) Typical values
Analyse chimique du fil (%)

Batch-No.	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu steel
649734	0.09	1.61	0.57	0.010	0.008	1.36	0.29	0.26	0.05
	Ti	Sn	Al	N	Zr	Sb	As	Nb	V
649734	0.005		0.013		0.007				0.08

Bemerkungen/Comments/Remarques

Zurich, 29.07.2007 / DBR

A. Fritschi
JOB2120

OERLIKON-WELDING LTD
E1



OERLIKON-WELDING LTD.
NEUNBRUNNENSTRASSE 50
8050 ZURICH/SWITZERLAND

Certificate of Quality
DIN 50 049-2.2 / EN 10 204-2.2

EXSA S.A.
R.U.C. 20100094135
ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 38,5
LURIN, LIMA 16
Peru

Ihre Bestell-Nr /Your order no./V. commande no.
4500005680

vom/of/du 18.05.2007

Für die von uns gelieferten Schweißzusatzwerkstoffe bestätigen wir folgende Eigenschaften:

We confirm the following properties for this delivery of welding consumables:

Nous confirmons comme suit les propriétés des produits de soudage livrés:

Elektrode/Electrode/Electrode		Durchmesser/Diameter/Diamètre (mm)	3.2
Draht/Wire/Fil	OE-SD3 2.5NiCrMo	Länge/Length/Longueur (mm)	
Pulver/Flux/Flux		Chargen-Nr./Batch no./Charge no.	4879

Chemische Analyse des Drahtes (%)

Chemical analysis of the wire (%)

Analyse chimique du fil (%)

KGS	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
50	0.13	0.19	1.52	0.011	0.007	0.66	0.54	2.43	0.009
V	Ti	Sn	Nb	Zr	Pb	As	Ta	Cu steel	
0.001	0.000							0.07	

Bemerkungen/Comments/Remarques

SPOOLS B/25 KG

CLASSIFICATION: AWS / ASME SFA 5.23 EG

Zurich, 29.05.2007 / DBR A. Fritschi
Job 2120

OERLIKON-WELDING LTD
E1



Oerlikon-Schweisstechnik AG

Neunbrunnenstrasse 50
80150 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch



Certificate

Customer:	Certificate No.:	Order No.:	Delivery Note:
EXSA S.A. R.U.C. 20100094135 ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 38,5 LURIN, LIMA 16 Peru	2000082010093508	ORD.NO. 4500005686	7107265
Trade Name:	Date:	Quantity	UM
OP 121 TT/W 25kg-Sa/EW 25 kg-Sa., bedruckt	02.08.07	Quantity: 4,000.00	KG Kilogramm
Classification:			Batch No.:
PS-Pal. a 1000 kg, engl. verp. AWS/ASME Sec. II C / SFA 5.23: F9 AP8 EG-F3			537417

In Combination with: OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945

We confirm following properties for the welding filler metals delivered by us.

Chemical Analysis:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,094	0,89	0,25	0,008	0,007	1,08	0,47	0,004	0,001	0,003

Mechanical Properties:

Certificate Type EN 10 204-2.2 WELD METAL

Tensile Test according to EN 10002-1					Impact Strength Test according to EN 10045-1		
Test Temp.	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Z	Test Temp.	Impact Strength	heat Treatment
°C	ReH N/mm ²	N/mm ²	%	%	°C	Joule (Charpy-V)	
+20	528	611	24,6	70,8	-40	184,186,186 185.33	2h/680 °C/Furnace cooling

Welding flux analysis (%)

Certificate Type EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

MnO	TiO2	CaO	CaF2	Fe2O3	SiO2	Al2O3	MgO	P2O5
0,79	0,12	7,35	24,69	0,56	13,08	19,75	29,36	0,005

Apparent density: 1,046 kg/dm³

Grain analysis (%)

Grain Size (mm)				
< 0,315	0,315 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,6	> 1,6
1,3	20,0	46,3	30,8	1,6



Oerlikon-Schweisstechnik AG

Nennbrunnenstrasse 50
80150 Zürich
E-Mail: Michael.Reimann@airliquide.com
Qualitätswesen / Zulassungen

Tel: +41 (0) 44 307 63 69
Fax: +41 (0) 44 307 65 30
Internet: www.oerlikon.ch

Page 2 of 2



Certificate No.: 2000082010093508

Chemical Composition of wire (%) OE-S 2 CR MO 1 B-Spl./25 3,0 Batch No.: 50945

Certificate Type EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Sn	As	Sb
0,144	0,97	0,14	0,007	0,009	1,22	0,49	0,001	0,001	0,003

Humidity / Diffusible hydrogen in the deposited weld metal

Certificate Type 2.2 EN 10 204-2.2 OF THE PRODUCT

HD (ml/100g)	H2O - Content (%) / 950°C
2,8	0,024

Zürich, 02.08.2007

Quality Manager / Michael Reimann

This document has been issued by computer and needs no signature.



ANEXO III:

HOJA TÉCNICA DE METAL DE APORTE SUPERARC L-100

SuperArc® LA-100

Low Alloy, Copper Coated • AWS ER100S-G, ER110S-G & EM2

Key Features

- ▶ Capable of producing welds with 690 MPa (100 ksi) tensile strength
- ▶ Excellent for welding quenched and tempered steels and HY-80 base materials
- ▶ MicroGuard® Ultra provides superior feeding and arc stability
- ▶ Supports short-circuiting, globular, axial spray and pulsed spray transfer

Typical Applications

- ▶ HY-80 base material
- ▶ ASTM A514, A543, A724 and A782 quenched and tempered plate
- ▶ Various heat input conditions
- ▶ Military low alloy applications

Conformances

AWS A5.28/A5.28M: 2005	ER100S-G, ER110S-G
ASME SFA-A5.28:	ER100S-G, ER110S-G
AWS A5.23/A5.23M: 2007	EM2
ABS:	4YQ550SA
CWB/CSA W48-06:	ER69S-G (ER100S-G)
DB:	EN 12534 T 69 5 Mn3Ni1, 5 Mo
TUV:	EN 12534 T 69 5 Mn3Ni1, 5 Mo
EN ISO 16834-B:	G 69A 5 A N3M2
MIL-E-23765/2:	MIL-100S-1

Welding Positions

All

Shielding Gas

90-95% Argon / Balance CO₂
 95-98% Argon / Balance O₂
 Flow Rate: 30 - 50 CFH

DIAMETERS / PACKAGING

Diameter in (mm)	33 lb (15 kg) Steel Spool	44 lb (20 kg) Steel Spool	60 lb (27.2 kg) Coil	500 lb (227 kg) Accu-Trak® Drum
0.035 (0.9)	ED031417	EDS30778	ED010996	ED031445
0.045 (1.1)		EDS30779		EDS01162
1/16 (1.6)				

WIRE COMPOSITION

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Mo
Requirements - AWS ER100S-G, ER110S-G	-	-	-	(A)	(A)
Typical Results ⁽³⁾	0.05-0.06	1.63-1.69	0.46-0.50	1.88-1.96	0.43-0.45
	%Cr	%S	%P	%V	%Al
Requirements - AWS ER100S-G, ER110S-G	(A)	-	-	-	-
Typical Results ⁽³⁾	0.04-0.06	0.002-0.005	0.005-0.009	≤ 0.01	≤ 0.01
	%Ti	%Zr	%Cu		
Requirements - AWS ER100S-G, ER110S-G	-	-	-		
Typical Results ⁽³⁾	0.03-0.04	≤ 0.01	0.11-0.14		

(A) Must have the minimum of one or more of the following: 0.50% Ni, 0.30% Cr, or 0.20% Mo.

SuperArc® LA-100

(AWS ER100S-G, ER110S-G & EM2)

MECHANICAL PROPERTIES⁽¹⁾ – As Required per AWS A5.28/A5.28M: 2005

	Yield Strength ⁽²⁾	Tensile Strength	Elongation	Charpy V-Notch J (ft•lbf)	
	MPa (ksi)	MPa (ksi)	%	@ -18°C (0°F)	@ -51°C (-60°F)
Requirements - AWS ER100S-G As-Welded - Gas Not Specified	Not Specified	690 (100) min.	Not Specified	Not Specified	Not Specified
AWS ER110S-G As-Welded - Gas Not Specified	Not Specified	760 (110) min.	Not Specified	Not Specified	Not Specified
MIL-100S-1 per MIL-E-23765/2C, 2D, 2E & T9074-BC-G1B-010/0200 As-Welded with 98% Ar /2% O ₂	565-825 (82-120)	Not Specified	16 min.	81 (60) min.	47 (35) min.
Typical Results⁽³⁾					
As-Welded at 30 kJ/in with 95% Ar/5% CO ₂	750 (109)	790 (115)	22	164 (121)	138 (102)
As-Welded at 45 kJ/in with 98% Ar/2% O ₂	730 (106)	780 (114)	20	- -	118 (87)
Pulse					
As-Welded at 110 kJ/in with 95% Ar/5% CO ₂	580 (84)	745 (108)	25	138 (102)	70 (52)
CV					
As-Welded at 110 kJ/in with 95% Ar/5% CO ₂	620 (90)	740 (107)	25	170 (125)	106 (78)
As-Welded at 45 kJ/in with 95% Ar/5% CO ₂	682 (99)	765 (111)	20	- -	117 (86)

TYPICAL OPERATING PROCEDURES

Diameter, Polarity Shielding Gas	CTWD ⁽⁵⁾ mm (in)	Wire Feed Speed m/min (in/min)	Voltage (volts)	Approx. Current (amps)	Melt-Off Rate kg/hr (lb/hr)
0.035 in (0.9 mm), DC+					
Short Circuit Transfer 90% Ar/25% CO ₂	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100)	18	80	0.7 (1.6)
		3.8 (150)	19	120	1.1 (2.4)
		6.4 (250)	22	175	1.8 (4.0)
Spray Transfer 90% Ar/10% CO ₂	9-12 (3/8-1/2)	9.5 (375)	23	195	2.7 (6.0)
		12.7 (500)	29	230	3.6 (8.0)
		15.2 (600)	30	275	4.4 (9.6)
0.045 in (1.1 mm), DC+					
Pulsed Spray Transfer ⁽⁵⁾	12-19 (1/2-3/4)	5.1 (200)	19-21	130	2.4 (5.4)
		6.4 (250)	20-23	140	3.0 (6.7)
Spray Transfer 98% Ar/2% O ₂ 95% Ar/5% CO ₂	12-19 (1/2-3/4)	8.9 (350)	27	285	4.2 (9.2)
		12.1 (475)	30	335	5.7 (12.5)
		12.7 (500)	30	340	6.0 (13.2)
0.052 in (1.3 mm), DC+					
Spray Transfer 98% Ar/2% O ₂ 95% Ar/5% CO ₂	12-25 (1/2-1) 12-25 (1/2-1)	5.3 (210)	25	325	4.8 (10.7)
		6.0 (235)	27	350	5.4 (12.0)
		7.4 (290)	28	430	6.7 (14.8)

⁽¹⁾Typical all weld metal. ⁽²⁾Measured with 0.2% offset. ⁽³⁾See test results disclaimer below. ⁽⁴⁾CTWD (Contact Tip to Work Distance). Subtract 1/4 in (6.4 mm) to calculate Electrical Stickout.

⁽⁵⁾Procedures in this area are for pulse MIG mode for welding in the vertical up and overhead welding positions. Actual results are dependent on joint, material thickness, as well as wave shape and pulse frequency.

ANEXO IV:

QW SEGÚN CODIGO ASME IX 2010

QW-212 Type and Dimensions of Groove Welds

Except as otherwise provided in QW-250, the type and dimensions of the welding groove are not essential variables.

QW-214 Corrosion-Resistant Weld Metal Overlay

QW-214.1 The size of test coupons, limits of qualification, required examinations and tests, and test specimens shall be as specified in table QW-453.

QW-214.2 Essential variables shall be as specified in QW-250 for the applicable welding process.

QW-215 Electron Beam Welding and Laser Beam Welding

QW-215.1 The WPS qualification test coupon shall be prepared with the joint geometry duplicating that to be used in production. If the production weld is to include a lap-over (completing the weld by rewelding over the starting area of the weld, as for a girth weld), such lap-over shall be included in the WPS qualification test coupon.

QW-215.2 The mechanical testing requirements of QW-451 shall apply.

QW-215.3 Essential variables shall be as specified in tables QW-260 and QW-264 for the applicable welding process.

QW-216 Hard-Facing Weld Metal Overlay

Hard-Facing Weld Metal Overlay refers to weld deposits made, using a variety of processes, to deter the effects of wear and/or abrasion. The requirements specified in QW-216.1 through QW-216.4 apply regardless of which hard-facing process is used.

QW-216.1 The size of test coupons, limits of qualification, required examinations and tests, and test specimens shall be as specified in table QW-453.

QW-216.2 Welding variables shall be as specified in QW-250 for the applicable process.

QW-216.3 Where Spray Fuse methods of hard-facing (e.g., Oxyfuel and Plasma Arc) are to be used, the coupons for these methods shall be prepared and welding variables applied in accordance with QW-216.1 and QW-216.2, respectively.

QW-216.4 If a weld deposit is to be used under a hard-facing weld metal overlay, a base metal with an assigned P-Number and a chemical analysis nominally matching the weld deposit chemical analysis may be substituted to qualify the PQR.

QW-217 Joining of Composite (Clad Metals)

The WPS for groove welds in clad metal shall be qualified as provided in QW-217(a) when any part of the cladding thickness, as permitted by the referencing Code Section, is included in the design calculations. Either QW-217(a) or (b) may be used when the cladding thickness is not included in the design calculations.

(a) The essential and nonessential variables of QW-250 shall apply for each welding process used in production. The procedure qualification test coupon shall be made using the same P-Number base metal, cladding, and welding process, and filler metal combination to be used in production welding. For metal not included in table QW/QB-422, the metal used in the composite test plate shall be within the range of chemical composition of that to be used in production. The qualified thickness range for the base metal and filler metal(s) shall be based on the actual test coupon thickness for each as applied to QW-451, except that the minimum thickness of filler metal joining the cladding portion of the weldment shall be based on a chemical analysis performed in accordance with table QW-453. Tensile and bend tests required in QW-451 for groove welds shall be made, and they shall contain the full thickness of cladding through the reduced section of the specimen. The bond line between the original cladding and the base metal may be disregarded when evaluating side-bend tests if the cladding was applied by a process other than fusion welding.

(b) The essential and nonessential variables of QW-250 shall apply for each welding process used in production for joining the base metal portion of the weldment. The PQRs that support this portion of the WPS need not be based on test coupons made with clad metal. For the corrosion-resistant overlay portion of the weld, the essential variables of QW-251.4 shall apply and the test coupon and testing shall be in accordance with table QW-453. The WPS shall limit the depth of the groove, which will receive the corrosion-resistant overlay in order to ensure development of the full strength of the underlying weld in the base metal.

QW-218 Applied Linings

QW-218.1 WPSs for attaching applied linings shall be qualified in accordance with QW-202.2(a), (b), or (c).

QW-218.2 As an alternative to the above, each process to be used in attaching applied linings to base metal shall be qualified on a test coupon welded into the form and arrangement to be used in construction using materials that are within the range of chemical composition of the metal to be used for the base plate, the lining, and the weld metal. The welding variables of QW-250 shall apply except for those regarding base metal or weld metal thickness. Qualification tests shall be made for each position to be used in

operators, the minimum length of coupon(s) to be examined shall be 6 in. (150 mm) and shall include the entire weld circumference for pipe(s), except that for small diameter pipe, multiple coupons may be required, but the number need not exceed four consecutively made test coupons. The examination technique and acceptance criteria shall be in accordance with QW-191.

QW-302.3 Test Coupons in Pipe. For test coupons made on pipe in position 1G or 2G of figure QW-461.4, two specimens shall be removed as shown for bend specimens in figure QW-463.2(d) or figure QW-463.2(e), omitting the specimens in the upper-right and lower-left quadrants, and replacing the root-bend specimen in the upper-left quadrant of figure QW-463.2(d) with a face-bend specimen. For test coupons made on pipe in position 5G or 6G of figure QW-461.4, specimens shall be removed in accordance with figure QW-463.2(d) or figure QW-463.2(e) and all four specimens shall pass the test. For test coupons made in both positions 2G and 5G on a single pipe test coupon, specimens shall be removed in accordance with figure QW-463.2(f) or figure QW-463.2(g).

QW-302.4 Visual Examination. For plate coupons all surfaces (except areas designated “discard”) shall be examined visually per QW-194 before cutting of bend specimens. Pipe coupons shall be visually examined per QW-194 over the entire circumference, inside and outside.

QW-303 Limits of Qualified Positions and Diameters (See QW-461)

QW-303.1 Groove Welds — General. Welders and welding operators who pass the required tests for groove welds in the test positions of table QW-461.9 shall be qualified for the positions of groove welds and fillet welds shown in table QW-461.9. In addition, welders and welding operators who pass the required tests for groove welds shall also be qualified to make fillet welds in all thicknesses and pipe diameters of any size within the limits of the welding variables of QW-350 or QW-360, as applicable.

QW-303.2 Fillet Welds — General. Welders and welding operators who pass the required tests for fillet welds in the test positions of table QW-461.9 shall be qualified for the positions of fillet welds shown in table QW-461.9. Welders and welding operators who pass the tests for fillet welds shall be qualified to make fillet welds only in the thicknesses of material, sizes of fillet welds, and diameters of pipe and tube $2\frac{7}{8}$ in. (73 mm) O.D. and over, as shown in table QW-452.5, within the applicable essential variables. Welders and welding operators who make fillet welds on pipe or tube less than $2\frac{7}{8}$ in. (73 mm) O.D. must pass the pipe fillet weld test per table QW-452.4 or the required mechanical tests in QW-304 and QW-305 as applicable.

QW-303.3 Special Positions. A fabricator who does production welding in a special orientation may make the tests for performance qualification in this specific orientation. Such qualifications are valid only for the flat position and for the special positions actually tested, except that an angular deviation of ± 15 deg is permitted in the inclination of the weld axis and the rotation of the weld face, as defined in figures QW-461.1 and QW-461.2.

QW-303.4 Stud-Weld Positions. Qualification in the 4S position also qualifies for the 1S position. Qualification in the 4S and 2S positions qualifies for all positions.

QW-303.5 Tube-to-Tubesheet Welder and Welding Operator Qualification. When the applicable Code Section requires the use of QW-193 for tube-to-tubesheet demonstration mockup qualification tests, QW-193.2 shall apply. If specific qualification test requirements are not specified by the applicable Code Section, welders and welding operators shall be qualified with one of the following methods:

- (a) groove welds per the requirements of QW-303.1
- (b) a demonstration mockup per the requirements of QW-193.2

QW-304 Welders

(10)

Except for the special requirements of QW-380, each welder who welds under the rules of the Code shall have passed the mechanical and visual examinations prescribed in QW-302.1 and QW-302.4 respectively. Alternatively, welders may be qualified by volumetric NDE per QW-191 when making a groove weld using SMAW, SAW, GTAW, PAW, and GMAW (except short-circuiting mode for radiographic examination) or a combination of these processes, except for P-No. 21 through P-No. 26, P-No. 51 through P-No. 53, and P-No. 61 through P-No. 62 metals. Welders making groove welds in P-No. 21 through P-No. 26 and P-No. 51 through P-No. 53 metals with the GTAW process may also be qualified by volumetric NDE per QW-191. The volumetric NDE shall be in accordance with QW-302.2.

A welder qualified to weld in accordance with one qualified WPS is also qualified to weld in accordance with other qualified WPSs, using the same welding process, within the limits of the essential variables of QW-350.

QW-304.1 Examination. Welds made in test coupons for performance qualification may be examined by visual and mechanical examinations (QW-302.1, QW-302.4) or by volumetric NDE (QW-302.2) for the process(es) and mode of arc transfer specified in QW-304. Alternatively, a minimum 6 in. (150 mm) length of the first production weld(s) made by a welder using the process(es) and/or mode of arc transfer specified in QW-304 may be examined by volumetric NDE.

upper transformation temperature or when an austenitic material is solution annealed after welding.

QW-404.8 Addition or deletion, or a change in nominal amount or composition of supplementary deoxidation material (in addition to filler metal) beyond that qualified. (Such supplementary metal may be required for weld metal deoxidation for some metals being welded.)

QW-404.9

(a) A change in the indicator for minimum tensile strength (e.g., the 7 in F7A2-EM12K) when the flux wire combination is classified in Section II, Part C.

(b) A change in either the flux trade name or wire trade name when neither the flux nor the wire is classified in Section II, Part C.

(c) A change in the flux trade name when the wire is classified in Section II, Part C but the flux is not classified. A change in the wire classification within the requirements of QW-404.5 does not require requalification.

(d) A change in the flux trade name for A-No. 8 deposits.

QW-404.10 Where the alloy content of the weld metal is largely dependent upon the composition of the flux used, any change in any part of the welding procedure which would result in the important alloying elements in the weld metal being outside of the specification range of chemistry given in the Welding Procedure Specification. If there is evidence that the production welds are not being made in accordance with the procedure specification, the authorized inspector may require that a check be made on the chemical composition of the weld metal. Such a check shall preferably be made on a production weld.

QW-404.12 A change in the filler metal classification within an SFA specification, or for a filler metal not covered by an SFA specification or a filler metal with a "G" suffix within an SFA specification, a change in the trade designation of the filler metal.

When a filler metal conforms to a filler metal classification, within an SFA specification, except for the "G" suffix classification, requalification is not required if a change is made in any of the following:

(a) from a filler metal that is designated as moisture-resistant to one that is not designated as moisture-resistant and vice versa (i.e., from E7018R to E7018)

(b) from one diffusible hydrogen level to another (i.e., from E7018-H8 to E7018-H16)

(c) for carbon, low alloy, and stainless steel filler metals having the same minimum tensile strength and the same nominal chemical composition, a change from one low hydrogen coating type to another low hydrogen coating type (i.e., a change among EXX15, 16, or 18 or EXXX15, 16, or 17 classifications)

(d) from one position-usability designation to another for flux-cored electrodes (i.e., a change from E70T-1 to E71T-1 or vice versa)

(e) from a classification that requires impact testing to the same classification which has a suffix which indicates that impact testing was performed at a lower temperature or exhibited greater toughness at the required temperature or both, as compared to the classification which was used during procedure qualification (i.e., a change from E7018 to E7018-1)

(f) from the classification qualified to another filler metal within the same SFA specification when the weld metal is exempt from Impact Testing by other Sections

This exemption does not apply to hard-facing and corrosion-resistant overlays

QW-404.14 The deletion or addition of filler metal.

QW-404.15 A change from one F-Number in table QW-432 to any other F-Number or to any other filler metal, except as permitted in QW-433.

QW-404.17 A change in the type of flux or composition of the flux.

QW-404.18 A change from wire to plate electrodes, and vice versa.

QW-404.19 A change from consumable guide to non-consumable guide, and vice versa.

QW-404.20 Any change in the method by which filler metal is added, such as preplaced shim, top strip, wire, wire feed, or prior weld metal buttering of one or both joint faces.

QW-404.21 For filler metal additions, any change from the nominal specified analysis of the filler metal qualified.

QW-404.22 The omission or addition of consumable inserts. Qualification in a single-welded butt joint, with or without consumable inserts, qualifies for fillet welds and single-welded butt joints with backing or double-welded butt joints. Consumable inserts that conform to SFA-5.30, except that the chemical analysis of the insert conforms to an analysis for any bare wire given in any SFA specification or AWS Classification, shall be considered as having the same F-Number as that bare wire as given in table QW-432.

QW-404.23 A change from one of the following filler metal product forms to another:

(a) bare (solid) or metal cored

(b) flux cored

(c) flux coated solid or metal cored

(d) powder

QW-404.24 The addition, deletion, or change of more than 10% in the volume of supplemental filler metal.

2010 SECTION IX

QW-432
F-NUMBERS

Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification

F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Steel and Steel Alloys			
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA-5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA-5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA-5.1	EXX14	...
2	SFA-5.1	EXX19	...
2	SFA-5.5	E(X)XX13-X	...
3	SFA-5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
4	SFA-5.5	E(X)XX15-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX16-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M1	...
4	SFA-5.5	E(X)XX45	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
6	SFA-5.2	All classifications	...
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
6	SFA-5.18	All classifications	...
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA-5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA-5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...
6	SFA-5.30	INMs-X	...
6	SFA-5.30	IN5XX	...
6	SFA-5.30	IN3XX(X)	...

QW-440 WELD METAL CHEMICAL COMPOSITION**QW-441 General**

Identification of weld metal chemical composition designated on the PQR and WPS shall be as given in QW-404.5.

**QW-442
A-NUMBERS
Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification**

A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	...	...	...	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40–0.65	...	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)–Molybdenum	0.15	0.40–2.00	0.40–0.65	...	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 4%)–Molybdenum	0.15	2.00–4.00	0.40–1.50	...	1.60	2.00
5	Chrome (4% to 10.5%)–Molybdenum	0.15	4.00–10.50	0.40–1.50	...	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00–15.00	0.70	...	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00–30.00	1.00	...	1.00	3.00
8	Chromium–Nickel	0.15	14.50–30.00	4.00	7.50–15.00	2.50	1.00
9	Chromium–Nickel	0.30	19.00–30.00	6.00	15.00–37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	...	0.55	0.80–4.00	1.70	1.00
11	Manganese–Molybdenum	0.17	...	0.25–0.75	0.85	1.25–2.25	1.00
12	Nickel–Chrome–Molybdenum	0.15	1.50	0.25–0.80	1.25–2.80	0.75–2.25	1.00

NOTE:

(1) Single values shown above are maximum.

QW-450 SPECIMENS
QW-451 Procedure Qualification Thickness Limits and Test Specimens

(10)

QW-451.1

GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS

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

NOTES:

- (1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
- (2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
- (3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or 2 *T*, or 2 *t*, whichever is applicable.
- (4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
- (5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

QW-451.2
GROOVE-WELD TENSION TESTS AND LONGITUDINAL-BEND TESTS

Thickness <i>T</i> of Test Coupon Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]		Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]		Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]		
	Min.	Max.	Min.	Max.	Tension, QW-150	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	<i>T</i>	2 <i>T</i>		2 <i>t</i>	2	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	2 <i>T</i>		2 <i>t</i>	2	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>		2 <i>t</i>	2	2	2

NOTES:

- (1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
- (2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

**QW-452 Performance Qualification Thickness
Limits and Test Specimens**

QW-452.1 Groove-Weld Test. The following tables identify the required type and number of tests and the thickness of weld metal qualified.

**QW-452.1(a)
TEST SPECIMENS**

Thickness of Weld Metal, in. (mm)	Type and Number of Examinations and Test Specimens Required			
	Visual Examination per QW-302.4	Side Bend QW-462.2 [Note (1)]	Face Bend QW-462.3(a) or QW-462.3(b) [Notes (1), (2)]	Root Bend QW-462.3(a) or QW-462.3(b) [Notes (1), (2)]
Less than $\frac{3}{8}$ (10)	X	...	1	1
$\frac{3}{8}$ (10) to less than $\frac{3}{4}$ (19)	X	2 [Note (3)]	Note (3)	Note (3)
$\frac{3}{4}$ (19) and over	X	2	...	...

GENERAL NOTE: The "Thickness of Weld Metal" is the total weld metal thickness deposited by all welders and all processes in the test coupon exclusive of the weld reinforcement.

NOTES:

- (1) To qualify using positions 5G or 6G, a total of four bend specimens are required. To qualify using a combination of 2G and 5G in a single test coupon, a total of six bend specimens are required. See QW-302.3. The type of bend test shall be based on weld metal thickness.
- (2) Coupons tested by face and root bends shall be limited to weld deposit made by one welder with one or two processes or two welders with one process each. Weld deposit by each welder and each process shall be present on the convex surface of the appropriate bent specimen.
- (3) One face and root bend may be substituted for the two side bends.

**QW-452.1(b)
THICKNESS OF WELD METAL QUALIFIED**

Thickness, t , of Weld Metal in the Coupon, in. (mm) [Notes (1) and (2)]	Thickness of Weld Metal Qualified [Note (3)]
All	$2t$
$\frac{1}{2}$ (13) and over with a minimum of three layers	Maximum to be welded

NOTES:

- (1) When more than one welder and/or more than one process and more than one filler metal F-Number is used to deposit weld metal in a coupon, the thickness, t , of the weld metal in the coupon deposited by each welder with each process and each filler metal F-Number in accordance with the applicable variables under QW-404 shall be determined and used individually in the "Thickness, t , of Weld Metal in the Coupon" column to determine the "Thickness of Weld Metal Qualified."
- (2) Two or more pipe test coupons with different weld metal thickness may be used to determine the weld metal thickness qualified and that thickness may be applied to production welds to the smallest diameter for which the welder is qualified in accordance with QW-452.3.
- (3) Thickness of test coupon of $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) or over shall be used for qualifying a combination of three or more welders each of whom may use the same or a different welding process.

ANEXO V:

**DATOS DE INVESTIGACIÓN DE SUMITOMO EN UNA UNIÓN
SOLDADA.**

◆ **SUMITOMO METALS**

SUMITOMO METALS' Steel
Plates for Penstock

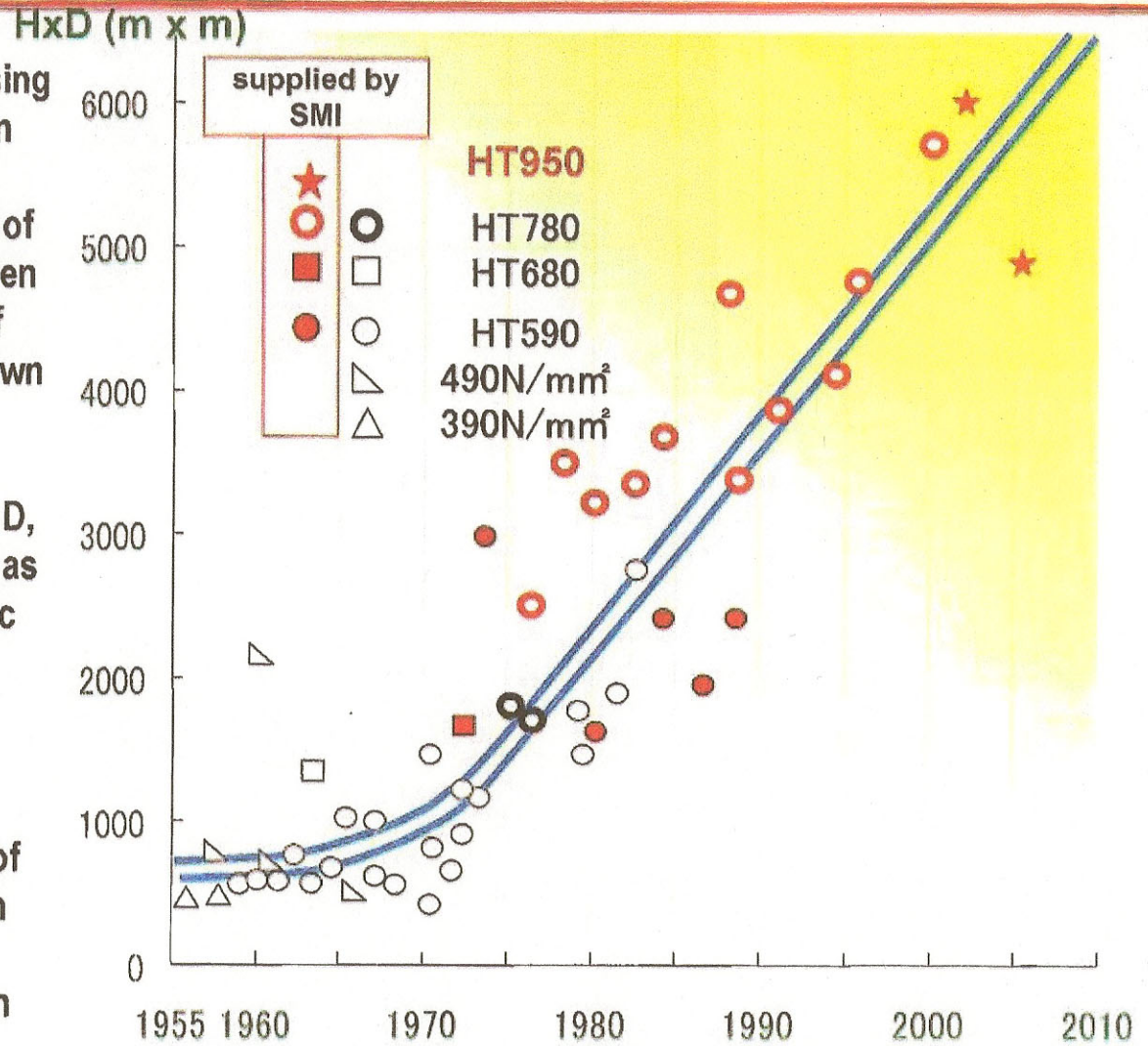


Steel Plates for Penstocks (1)

To keep up with the trend of increasing electric power demand, construction of hydropower plants is one of the most feasible means. And the scale of hydroelectric power stations has been increasing year by year in pursuit of higher generation efficiency, as shown in the figure.

In this figure, diameter of penstock, D , times design water head, H , is used as an index of the scale of hydroelectric power stations.

With the increase of $H \times D$, grade of steel applied has increased up to HT950. This is because application of high strength steel saves fabrication costs, transportation costs and fabrication period due to decrease in wall thickness and weight.



Trend of expansion in scale of penstock

Steel Plates for Penstocks (2)

 **SUMITOMO METALS**

Sumitomo Metals' development of high tensile strength steel plates for penstocks started with HT690 in 1969. Nowadays, Sumitomo Metal is **only one company which supplied HT950 plates** for penstocks to both projects of Switzerland and Japan.

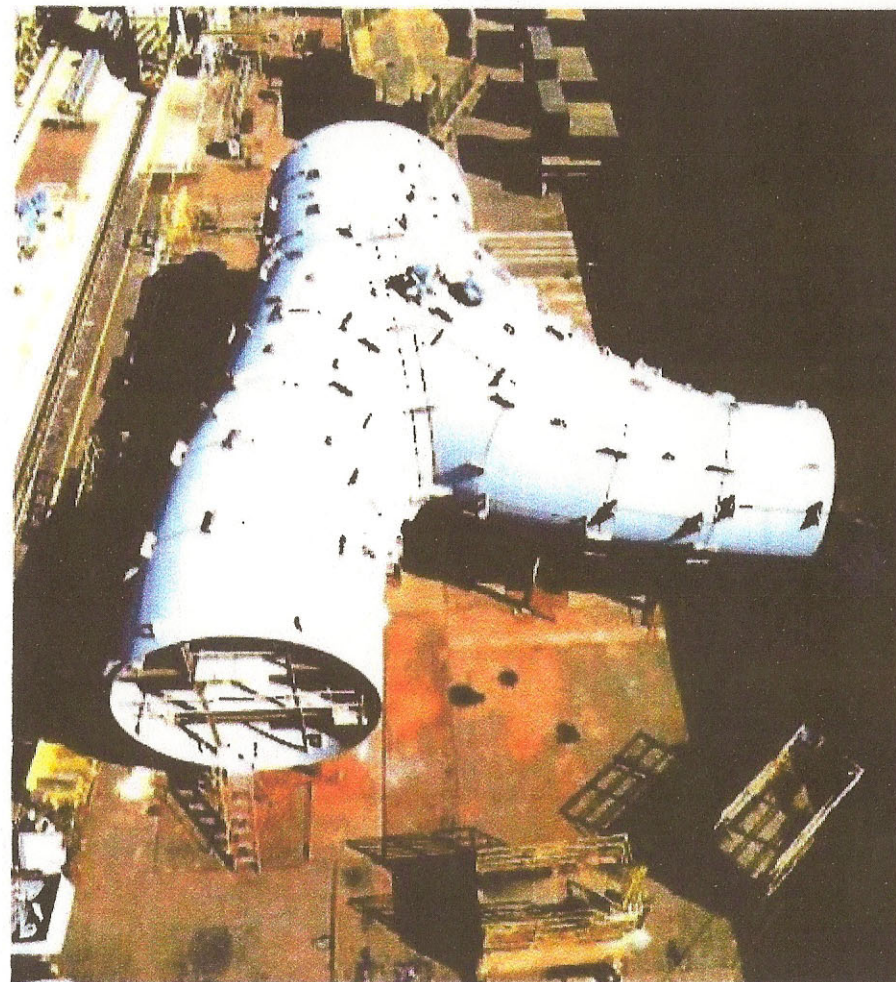
Line-up of steel plates for penstocks

Steel grade : up to HT950

Corresponding standards : JIS, ASTM, BS EN and **SUMITEN**

Steels for bifurcation, as shown in the figure, are also available.

TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) should be recommended in order to lower preheat temperature and to shorten delivery time.



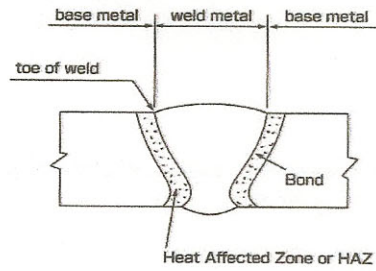
10. Welding

(1) Weld heat affected zone

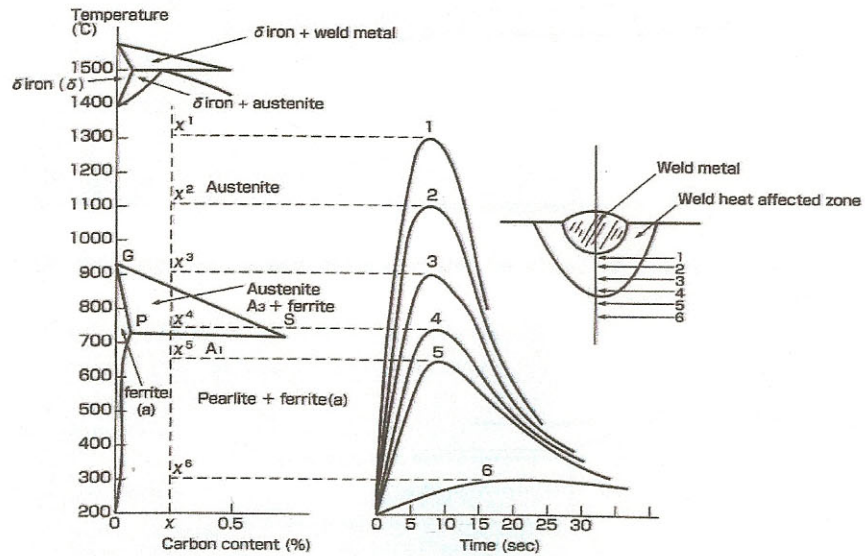
In most cases, steel plates are manufactured to be welded. Though the weld heat affected zone differs with welding methods, generally it varies as follows.

A. Structure of weld heat affected zone

(A) Name and location of each section of the arc welded joint (Fig. 1)



(B) Relationship between iron-carbon-based equilibrium diagram and welding heat cycle (Fig. 2)

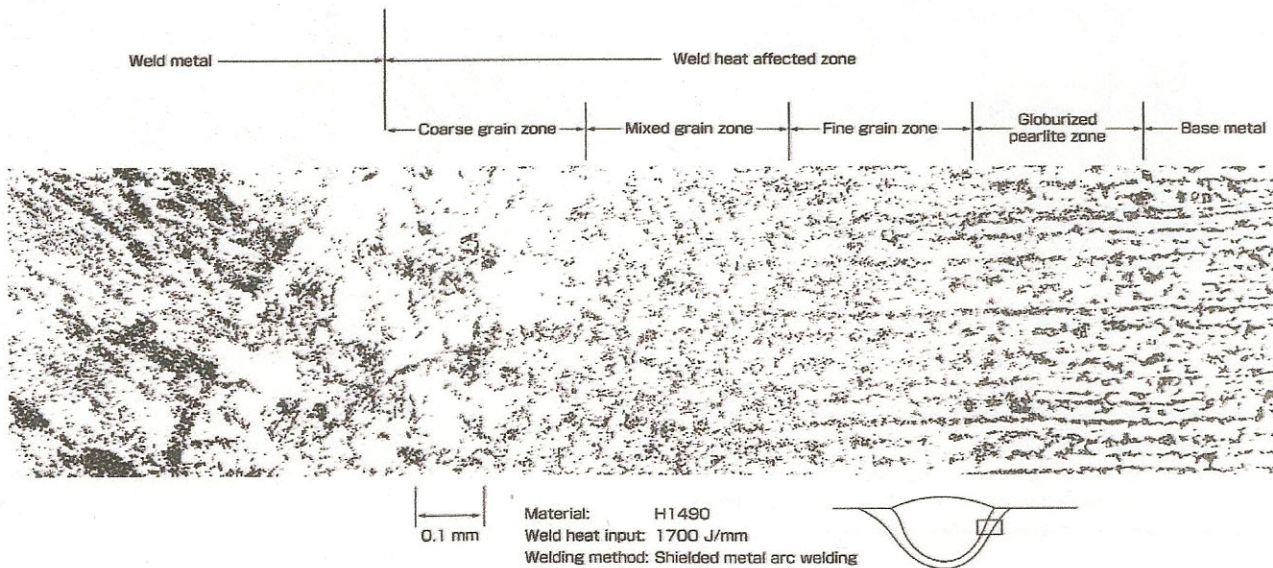


(C) Structure of the weld heat-affected zone of steel

Structural type	Range of heating temperature (Approx.)	Remarks	Location*
Weld metal	Melting temperature $\geq 1500^{\circ}\text{C}$	Range between melting and solidification, presenting dendritic structure.	
Coarse grain zone	$> 1250^{\circ}\text{C}$	Section where grain has grown coarse. Likely to harden and crack.	1
Mixed grain zone (Medium-size grain zone)	$1250 \sim 1100^{\circ}\text{C}$	Medium grain between coarse and fine type. Also middle in properties.	2
Fine grain zone	$1100 \sim 900^{\circ}\text{C}$	Refined by recrystallization. Good in mechanical properties such as toughness.	3
Globular pearlite zone (Partially melting zone)	$900 \sim 750^{\circ}\text{C}$	Only pearlite becomes transformed or globularized. When cooled slowly, good in toughness, but when cooled rapidly, martensite is often produced and toughness deteriorates.	4
Embrittlement zone	$750 \sim 300^{\circ}\text{C}$	Embrittlement may occur due to thermal stress and precipitation. Microscopically no change.	5
Base metal zone	$300^{\circ}\text{C} \sim$ room temperature	Base metal section with no thermal effect.	6

(Note) Location* is as described in Fig. 2 left below.

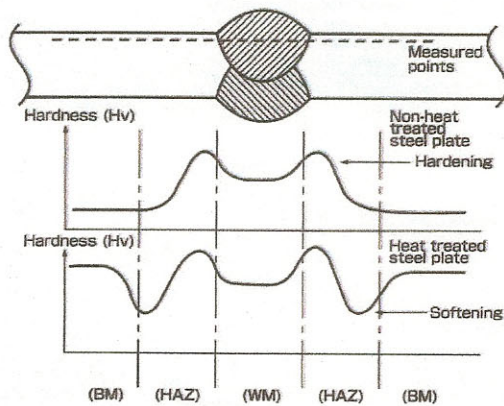
(D) Microscopical structure of weld heat affected zone (X100 magnification)



B. Hardening of HAZ

As the weld metal (WM) of non-heat treated steel plates has a kind of cast structure, the heat affected zone (HAZ) usually increases more in hardness due to the hardening effect than the base metal (BM). The harder the HAZ, the lower the ductility, leading to probable cracking in welding or use. Therefore, steel grades and welding conditions must be determined carefully so that the maximum hardness of HAZ may be as low as possible.

Fig. 3. Hardness of weld zone



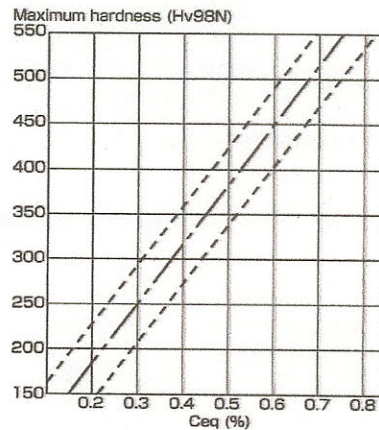
Maximum hardness
 $(H_{max}) = a \cdot C_{eq} + b$
 (a and b are constants that depend on joint conditions.)

Carbon equivalent
 $(C_{eq}) = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$

In contrast, as the HAZ of heat-treated steel plate is heated at a high temperature above tempering temperature, softening phenomenon occurs. (Fig. 3) Therefore, it is necessary to conduct welding work with weld heat input as small as possible.

The carbon equivalent is widely used to estimate the maximum hardness. The relationship between the maximum hardness and the carbon equivalent is shown in Fig. 4.

Fig. 4. Relationship between the maximum hardness and the carbon equivalent



Major Hydro-Powder Projects in Japan Utilizing HT Steel

Project	Numappara	Ohira	Okuyoshino	Nanbara	Okukiyotsu	Okuyahagi No.2
Owner	Electric Power Development Co.	Kyushu Electric Power Co.	Kansai Electric Power Co.	Chugoku Electric Power Co.	Electric Power Development Co.	Chubu Electric Power Co.
Year of Completion	1972	1975	1976	1976	1976	1981
Bifurcation	Spherical Trifurcation	Y	Spherical Trifurcation	-	Spherical	Shell
Max. Design Head	688m	795m	840m	520m	720m	620m
Diameter	2.6m	2.4m	4.3m	3.1m	2.55m	6.5m
HT Grade	HT690	HT780	HT780	HT780	HT780	HT780
Quantity of HT Steel	2,900t	1,000t	3,200t	900t	6,400t	1,200t
Max. Thickness of Straight Pipe	42mm	36mm	50mm	32mm	45mm	56mm
SR Condition	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied

Table. Comparison of each specification (in the case of t=40mm)

Grade	Notation	Heat treatment	Chemical composition (mass%)													Tensile Test	
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	others	YS(N/mm ²)	TS(N/mm ²)			
HT780	ASTM A517Gr.B	QT	0.15/ 0.21	0.15/0.35	0.70/1.00	0.035	0.035	0.40	0.40	0.40/0.15/ 0.65	0.25	Nb ≤ 0.02 V: 0.03/0.08 Ti: 0.01/0.03	690 min.	795/930			
	ASTM A517Gr.F	QT	0.10/ 0.20	0.15/0.35	0.60/1.00	0.035	0.035	0.15/ 0.50	0.70/ 1.00	0.40/ 0.65	0.40/ 0.60	Nb ≤ 0.02 V: 0.03/0.08 Ti ≤ 0.03	690 min.	795/930			
	JIS SHY685	QT	0.18	0.55	1.50	0.030	0.025	0.50	-	1.20	0.60	V ≤ 0.10, B ≤ 0.005 Ceq ≤ 0.60	685 min.	780/930			
	JIS SHY685N		0.18	0.55	1.50	0.030	0.025	0.50	0.30/ 1.50	0.80	0.60	V ≤ 0.10, B ≤ 0.005 Ceq ≤ 0.60	685 min.	780/930			
	JIS SHY685NS		0.14	0.55	1.50	0.015	0.015	0.50	0.30/ 1.50	0.80	0.60	V ≤ 0.05, B ≤ 0.005 Ceq ≤ 0.53	685 min.	780/930			
	SUMITEN780S	QT or TMCP	0.18	0.55	1.50	0.025	0.015	0.50	-	1.20	0.60	V ≤ 0.10, B ≤ 0.005 Pcm ≤ 0.30	685 min.	780/930			
	SUMITEN780	QT or TMCP	0.16	0.55	1.50	0.020	0.015	0.15/ 0.50	0.30/ 1.50	0.30/ 0.80	0.10/ 0.60	V ≤ 0.10, B ≤ 0.005 Pcm ≤ 0.30	685 min.	780/930			

CE=C+Mn/6+Cr/5+Mo/5+V/5+Cu/15+Ni/15 (%) Ceq= C+S/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14 (%)
 Pcm= C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B (%)

(I) Requirements in JIS		(II) International Standard number	(III) Requirements in International Standard		(IV) Classification and details of technical deviation between JIS and the International Standard by clause Location of deviation: text, annex Indication method: continuous sidelines		(V) Justification for the technical deviation and future measures
Clause	Content		Clause	Content	Classification by clause	Detail of technical deviation	
11 (concluded)			4	Surface characteristics: specifies surface condition and oiling.	MOD/deletion	JIS does not specify.	JIS investigates to be added.
			5.1	Specifies steelmaking.	MOD/deletion	JIS does not specify.	The steelmaking is not specified generally in JIS, also construction of both ISO and JIS is different; it is left as it is.
			13	At ordering coils, specifies diameters and mass of coils.	MOD/deletion	JIS does not specify.	Because JIS is for individual contract purpose, they are items not to be specified; it is left as it is.
			15	Specifies information to be supplied by the purchaser.	MOD/deletion	JIS does not specify.	

Designated degree of correspondence between JIS and International Standard: MOD

- Remarks 1 Symbols in sub-columns of classification by clause in the above table indicate as follows:
- IDT: Identical in technical contents.
 - MOD/deletion: Deletes specification item(s) or content(s) of International Standard.
 - MOD/addition: Adds specification item(s) or content(s) not included in International Standard.
 - MOD/alteration: Alters the specification content(s) included in International Standard.
- 2 Symbol in column of designated degree of correspondence between JIS and International Standard in the above table indicates as follows:
- MOD: Modifies International Standard.

High yield strength steel plates for welded structure

Introduction This is the Japanese Industrial Standard with its body based on the original Japanese Industrial Standard revised in 1987, and Annexes 2 to 4 based on ISO 4950-1 High yield strength flat steel products—Part 1: General requirement, Part 2: Products supplied in the normalized or controlled rolled condition, and Part 3: Products supplied in the heat-treated (quenched + tempered) condition published in 1995 after a revision, without modifying its technical content.

1 Scope This Japanese Industrial Standard specifies the hot-rolled steel plates of 780 N/mm² in tensile strength and 685 N/mm² in proof stress with excellent weldability, (hereafter referred to as the "steel plates") used for pressure vessels, high pressure equipment, and other structures.

The steel products specified in Annex 3 and Annex 4 shall be also constituted provisions of this Standard. However, the matter in an Annex 2 to Annex 4 are concluded itself and independent of the matters specified in the body of this Standard. For this reason, it is not allowed to apply the parts of the provision specified in the body to the Annex. Similarly, the parts of the provision specified in Annex are not allowed to apply for the steel products specified in the body of this Standard.

2 Normative references The normative references shall be given in Attached Table 1.

The standards shown in Attached Table 1 contain provisions which, through reference in this Standard, constitute provisions of this Standard.

Normative references described on the most recent edition shall apply.

3 Grade and Designation The steel plates shall be classified into 3 grades, and their designation shall be as given in Tables 1.

Table 1 Designation of grade

Designation of Grade	Applicable thickness
SHY 685	6 or over up to and incl. 100
SHY 685 N	
SHY 685 NS	

4 Chemical Composition and Carbon Equivalent The chemical composition and carbon equivalent of the steel plates shall be determined by the method in 9.1. The values of the ladle analysis and carbon equivalent shall be in accordance with Table 2.

Table 2 Chemical Composition and Carbon Equivalent

Unit: %

Designation of grade	Chemical composition %											Carbon equivalent %		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	50 mm or under in thickness	Over 50 mm up to and incl. 75	Over 75 mm up to and incl. 100
SHY 685	0.18 max.	0.55 max.	1.50 max.	0.03 max.	0.025 max.	0.50 max.	—	1.20 max.	0.60 max.	0.10 max.	0.005 max.	0.60 max.	0.63 max.	0.63 max.
SHY 685 N	0.18 max.	0.55 max.	1.50 max.	0.030 max.	0.025 max.	0.50 max.	0.30/1.50	0.80 max.	0.60 max.	0.10 max.	0.005 max.	0.60 max.	0.63 max.	0.63 max.
SHY685 NS	0.14 max.	0.55 max.	1.50 max.	0.015 max.	0.015 max.	0.50 max.	0.30/1.50	0.80 max.	0.60 max.	0.05 max.	0.005 max.	0.53 max.	0.57 max.	(1)

Note (1) The value of carbon equivalent shall be in accordance with the agreement between the purchaser and the supplier.

Remarks 1 Alloying elements other than those given in the above Table may be added, if necessary.

2 The carbon equivalent shall be calculated with the following formula and the values shall be in accordance with Table 2.

$$\text{Carbon equivalent (\%)} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%)$$

5 Mechanical Properties Mechanical Properties shall be as follows:

a) Steel plates shall be tested in accordance with 9.2 and the proof stress, tensile strength, elongation and bending property of the steel plates shall comply with Table 3.

In the case of bend test, however, no cracking shall appear on the outside of the bent portion. The bend test may be omitted, unless otherwise particularly specified by the purchaser.

b) The steel plates of over 12 mm in thickness shall be tested in accordance with 9.2 and Charpy absorbed energy shall comply with Tables 4. When an impact test is specified for the steel plates 12 mm or under in thickness at the time of order, it shall be made on the subsize impact test pieces. In this case, the Charpy absorbed energy shall in accordance with Table 5.

c) Regardless of the specification of the body of this Standard, the purchaser may specify the supplementary quality requirement specified in Appendix 1 in accordance with the previous agreement between the purchaser and the supplier.

Table 3 Mechanical Properties

Designation of grade	Proof stress N/mm ²		Tensile strength N/mm ²		Elongation			Bendability		
	50 mm or under in thickness	Over 50 mm up to and incl. 100 in thickness	50 mm or under in thickness	Over 50 mm up to and incl. 100 in thickness	Thickness mm	(%) Test piece	%	Bend angle	Inside radius	Test piece
SHY 685	685 min.	665 min.	780 to 930	760 to 910	6 or over up to and incl. 16	No.5	16 min.	180°	For 32 mm or under in thickness. Thickness x 1.5 For over 32 mm in thickness. Thickness x 2.0	No. 1, transversely to the rolling direction
SHY 685 N					Over 16	No.5	24 min.			
SHY 685 NS					Over 20	No.4	16 min.			

Note (2) The direction of tensile test piece shall be transverse to the rolling direction.

Table 4 Charpy Absorption Energy

Designation of grade	Test temperature °C	Charpy Absorption Energy J		Test piece
		Mean value of 3 test pieces	Value of individual test piece	
SHY 685	-20	47 min.	27 min	No. 4 Parallel to rolling direction
SHY 685N				
SHY 685NS					47 min	27 min

Remarks : The direction of the test piece may be specified to be transverse to the rolling direction. In this case, the Charpy absorbed energy level shall be in accordance with the agreement between the purchaser and the supplier.

Table 5 Charpy Absorbed Energy for Subsize Test Piece

Absorbed energy for a test piece with size 10x10 mm	Thickness/width of Absorbed test piece mm	
	10x7.5	10x5
47	35	24
27	22	14

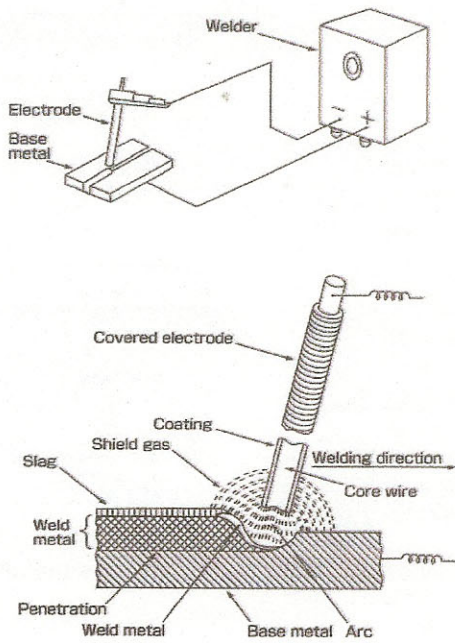
Unit : J

6 Shape, Dimensions, Mass and Tolerances The shape, dimensions, mass and tolerances of the steel plates shall be in accordance with JIS G 3193. However, the following requirements shall be satisfied.

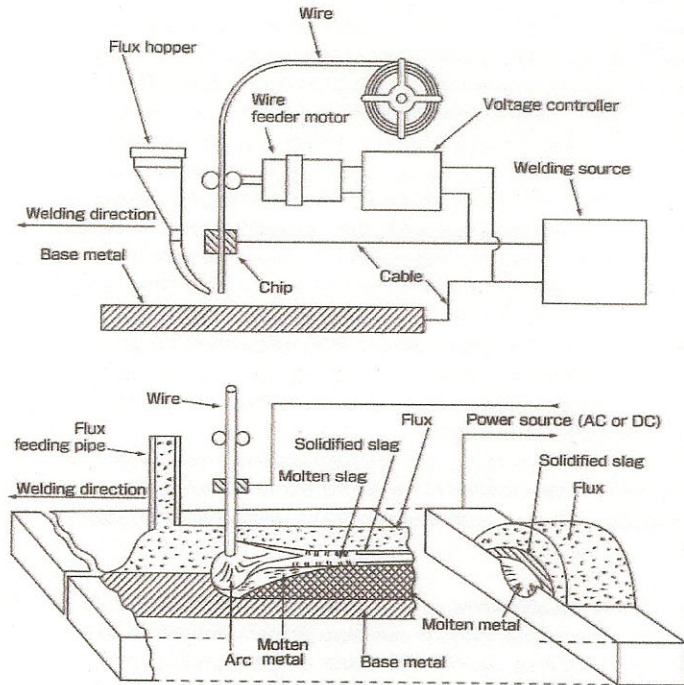
- a) The tolerances of the length of the steel plate and width of cut edge shall apply the tolerance A, unless otherwise specified. The tolerance in thickness shall be in accordance with Table 6.
- b) In the calculation of the mass of the steel plate, the values which are added the numerical value given in Table 7 to the indicated thickness shall be used.

(3) Welding method

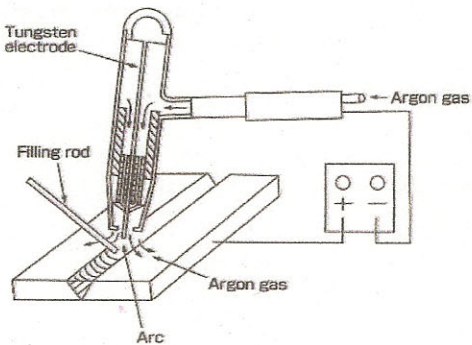
A. Shielded metal arc welding



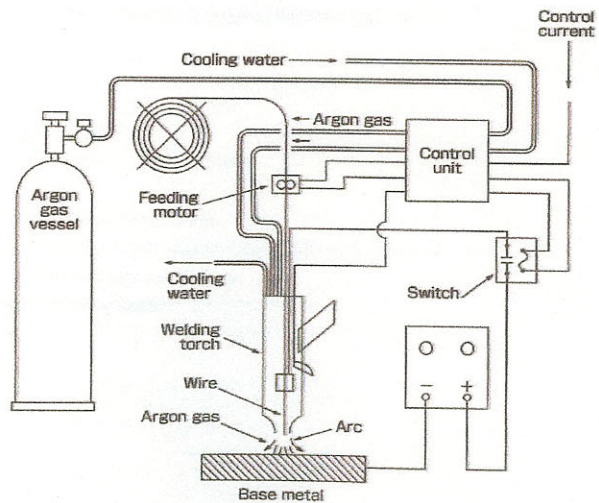
B. Submerged arc welding



C. Tungsten inert gas (TIG) welding



D. Metal inert gas (MIG) welding

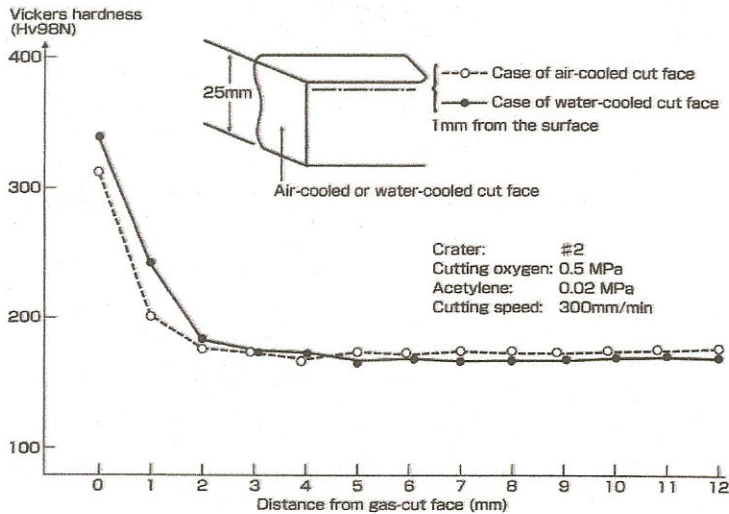


9. Hardenability by Gas Cutting

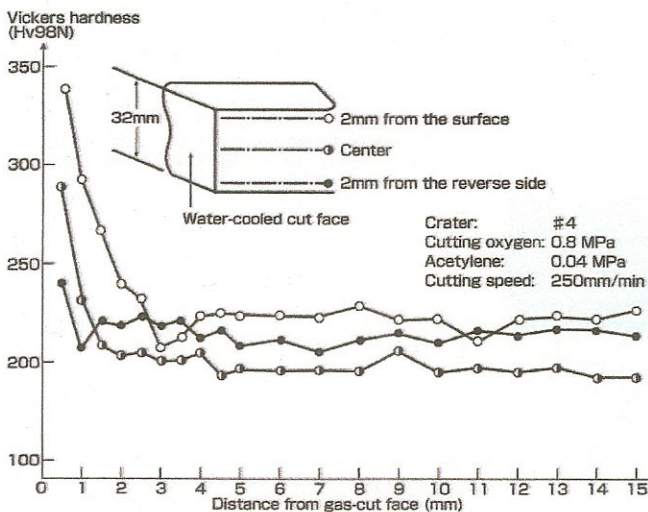
The neighboring section of the gas-cut surface of a steel plate sometimes becomes harder than the other sections due to the quenching effect. The greater the carbon equivalent, the greater the hardenability as is the case with high tensile strength steel plates and atmospheric corrosion-resistant steel plates. (See paragraphs concerning welding.) Some examples of SMI's examination results on hardening due to gas cutting are shown below. It is

understood that the hardened section is at most within 3mm from the cut face. Such hardening does not matter in regular bending or cutting work. Since all the steel plates that our company manufactures excel in formability, they can be used without concern; that is, there is no harmful influence due to gas cutting. Softening by heating before and after gas cutting enables formability and cutting ability to be further improved.

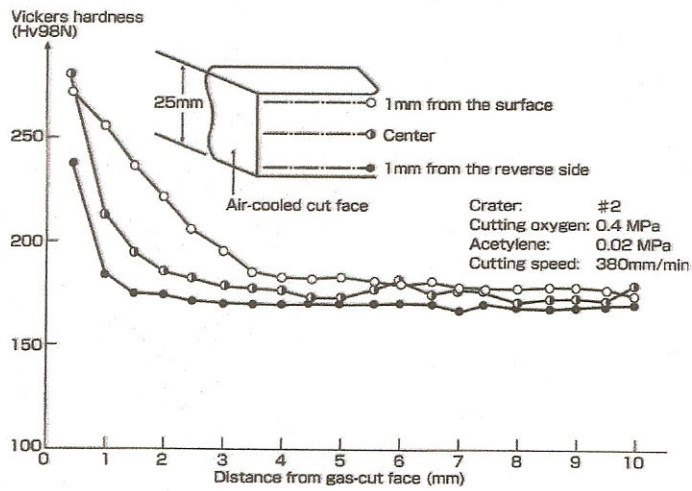
Results of hardenability tests of SUMITEN 590 steel plates by gas cutting (plate thickness = 25 mm)



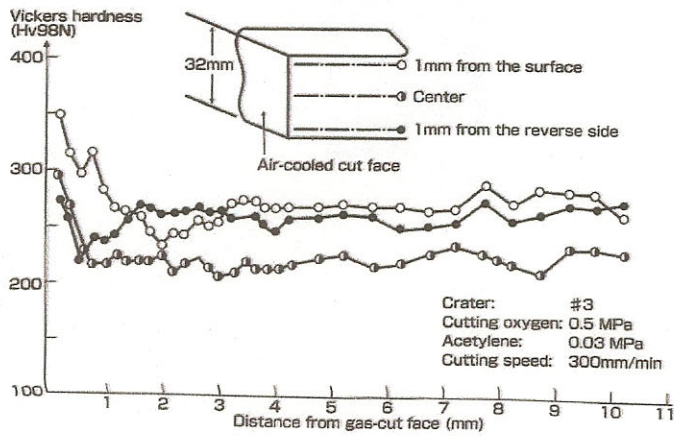
Results of hardenability tests of SUMITEN 590 steel plates by gas cutting (plate thickness = 32 mm)



Results of hardenability tests of CR2-490B steel plates by gas cutting
(plate thickness = 25 mm)



Results of hardenability tests of CR2-590 steel plates by gas cutting
(plate thickness = 32 mm)



**SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate
for Penstock Pipes**

CONFIDENTIAL

No distribution without permission from Sumitomo Metal Industries, Ltd.

DATA SHEET

**SUMITOMO METAL
INDUSTRIES, LTD.**

SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate for Penstock Pipes

1. Foreword

For higher-grade applications of HT780 steel such as penstocks, jack-up-rig chords etc., Ni type HT780 steel has been conventionally used. However, from economical viewpoint, improvement of Non-Ni type HT780 steel has been strongly required. Sumitomo Metals developed and has been producing its own Non-Ni type HT780-SUMITEN780S with similarly excellent base metal properties and weldability as Ni type HT780. Following is properties of SUMITEN780S steel plates.

2. Characteristics of SUMITEN780S Steel Plates

- (1) Ni is not added to be economical.
- (2) Contents of B, Ti and N are properly controlled to obtain good quenching effect and to improve strength and toughness.
- (3) Si content is lowered to obtain good toughness in bond of welded joint.

3. Tested material

3.1 Chemical Composition

Table 1. Chemical Composition (Product analysis; mass%)

	Steel Grade	Plate Thick (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Al	Ceq	P _{cm}
			Tested Material	SUMITEN780S	32	.14	.06	1.14	.007	.002	.25	.02	.81	.34	.04	.0005	.05	.58	.28
44.5	.13	.06			1.12	.006	.002	.25	.02	.79	.33	.04	.0005	.05	.56	.27
(Ref.) SUMITEN780 (Ni added)	30	.11		.30	.81	.012	.004	.20	.95	.45	.40	.03	.0012	.05	.47	.25
Spec.	SUMITEN780S	6-50	≦	≦	≦	≦	≦	≦	N/A	≦	.10	≦	≦			≦
			.18	.55	1.50	.025	.015	.50		1.20	/.60	.10	.005			.30
	SUMITEN780	6-50	≦	≦	≦	≦	≦	.15	.30	.30	.10	≦	≦			≦
			.16	.55	150	.020	.015	/.50	/.50	/.80	/.60	.10	.005			.30

$$Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/4 \quad (\%)$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (\%)$$

3.2 Heat treatment

Quenched and Tempered



DATA SHEET

SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.

SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate for Penstock Pipes

4. Test Results

4.1 Test results of Base Material

4.1.1 Tensile Test

Table 2. Tensile Test Results

Steel Grade	Plate Thick (mm)	Tested position	Tested direction	YP (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	RA (%)
SUMITEN780S	32	1/4t	L	749	802	24.5	72.1
			C	745	798	24.8	72.1
	44.5	1/4t	L	824	867	23.7	68.5
			C	827	872	21.7	64.9
SUMITEN780 (Ref.)	30	1/4t	L	798	864	24.3	70.2
			C	800	860	24.5	70.9
Spec.	SUMITEN780S	6 - 50mm		≥685	780/930	t≤16: ≥16 (JIS No.5)	
						t>16: ≥24 (JIS No.5)	
						t>20: ≥16 (JIS No.4)	
	SUMITEN780	≤50mm	≥685	780/930	ditto	N/A	
	>50mm	≥665	760/910	ditto			

Test specimen: JIS No.4

4.1.2 2mm V-Notch Charpy Test

Table 3. 2mm V-Notch Charpy Test Results

Steel Grade	Plate Thick. (mm)	Tested position	Tested direction	Charpy Test			Strain Aged Charpy ¹⁾		
				vE0 (J)	VE-40 (J)	vTrs (°C)	vE0 (J)	VE-40 (J)	vTrs (°C)
SUMITEN780S	32	1/4t	L	209	186	-73	211	211	-74
			C	201	183	-77	223	222	-69
	44.5	1/4t	L	184	133	-64	194	158	-64
			C	123	63	-43	122	57	-50
SUMITEN780	30	1/4t	L	240	229	-95	247	238	-96
			C	197	198	-87	194	193	-85

Test specimen: JIS No.4

1) Aged condition: 5% pre-strain , 250 deg.C X 30min. Aging



DATA SHEET

**SUMITOMO METAL
INDUSTRIES, LTD.**

**SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate
for Penstock Pipes**

4.2 Weldability Test

4.2.1 Maximum Hardness Test

- (1) Plate Thickness: 32mm
- (2) Test Method: JIS Z3101
- (3) Test results: refer to Fig. 1

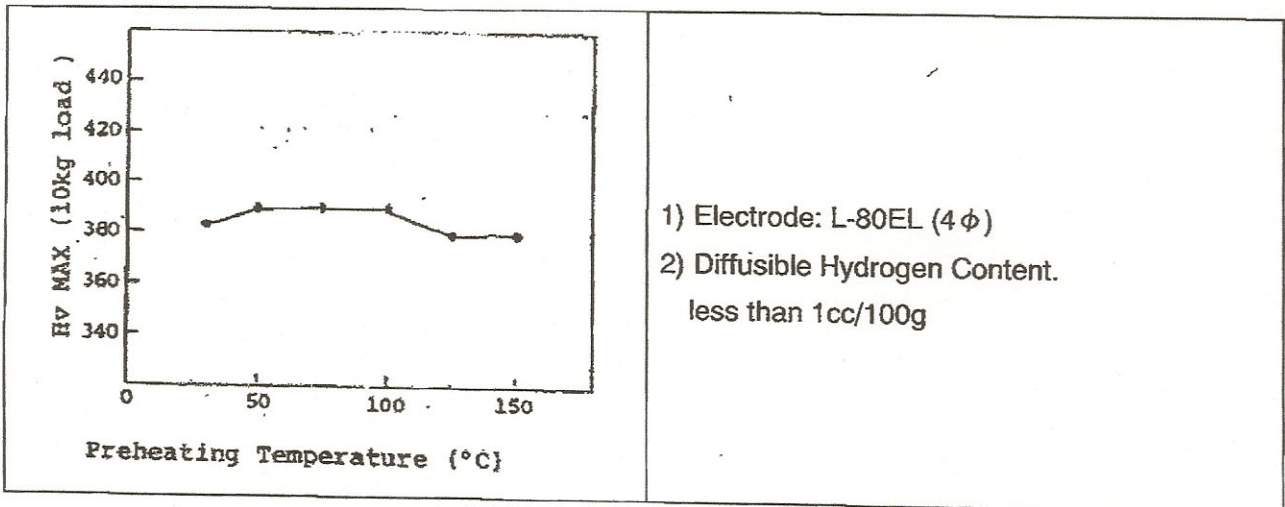


Fig. 1 Maximum Hardness Test Results

4.2.2 y-groove Resistant Cracking Test

- (1) Plate Thickness: 32mm
- (2) Test Method: JIS Z3151
- (3) Test Results: refer to Fig. 2

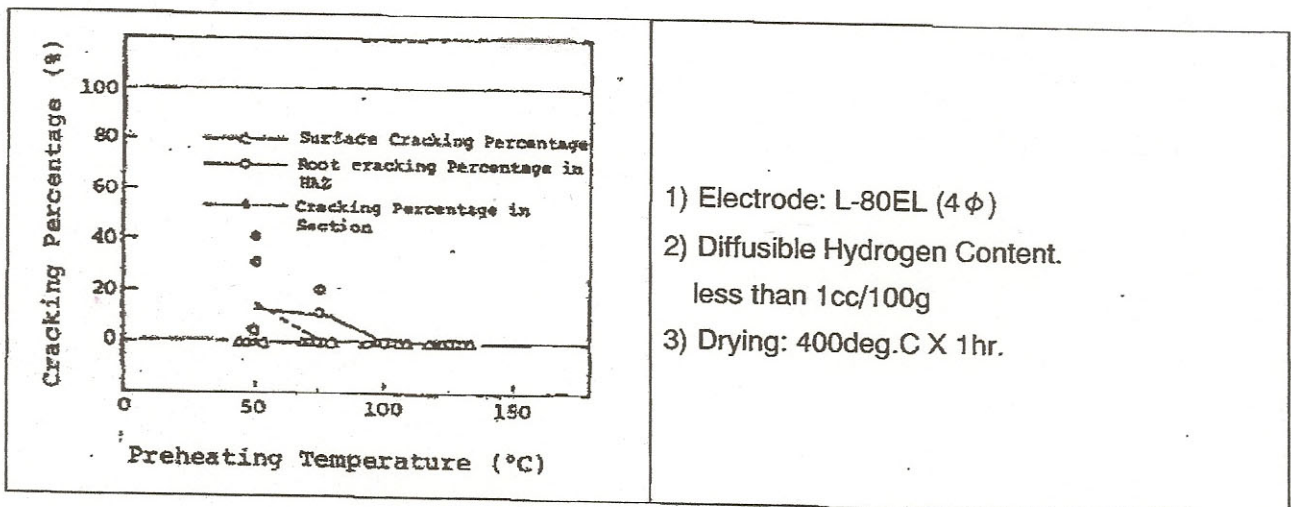


Fig. 2 y-groove Resistant Cracking Test Results



DATA SHEET

**SUMITOMO METAL
INDUSTRIES, LTD.**

SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate for Penstock Pipes

4.3 Test Results of welded Joint

4.3.1 Welding Parameters

Table 4. Welding Parameters

Plate Thick. (mm)	32			44.5
Welding Method	SMAW (Flat)	SAW (Flat)		SAW (Flat)
Welding Material	L-80EL (4φ)	Wire:NB250H, Flux:Y80M		
Groove Shape	60° , X	60° , X	45° , K	45° ; √
Heat Input (KJ/mm)	1.7, 3.0	4.5, 6.0	4.5	3.0, 5.0
Pre-heating, Interpass Temp. (°C)	100 - 150			

4.3.2 Tensile Test Results of Welded Joint

Table 5. Tensile Test Results of Welded Joint

Plate Thick. (mm)	32				44.5
Welding Method	SMAW		SAW		SAW
Heat Input (KJ/mm)	1.7 (X)	3.0 (X)	4.5 (X)	6.0 (X)	3.0 (√) | 5.0 (√)
TS (MPa)	826	807	809	794	N/A
	824	809	803	809	
Fractured Position	Base Metal	Base Metal	Base Metal	Base Metal	N/A



DATA SHEET

SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.

**SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate
for Penstock Pipes**

4.3.3 2mm V-Notch Charpy Test Results of Welded Joint

Table 6. 2mm V-Notch Charpy Test Results of Welded Joint (Plate Thick. 32mm)

Welding Method	SMAW						SAW					
	1.7 (X groove)			3.0 (X groove)			4.5 (X groove)			6.0 (X groove)		
Heat Input (KJ/mm)	vE0	VE-30	vTrs	vE0	VE-30	vTrs	vE0	VE-30	vTrs	vE0	VE-30	vTrs
Notch Position	(J)	(J)	(°C)	(J)	(J)	(°C)	(J)	(J)	(°C)	(J)	(J)	(°C)
W.M.	116	75	-32	78	51	-11	140	101	-48	151	93	<-50
Bond	179	178	<-50	155	106	<-50	89	89	<-50	86	116	-34
HAZ 1mm	182	164	<-50	153	101	<-50	85	62	-27	82	87	-32
HAZ 2mm	208	208	<-50	163	133	<-50	107	51	-16	75	68	-35
HAZ 3mm	216	217	<-50	218	216	<-50	141	67	-27	184	50	-21

Welding Method	SAW		
Heat Input (KJ/mm)	4.5 (K groove)		
Notch Position	vE0 (J)	VE-30 (J)	vTrs (°C)
W.M.	170	135	<-50
Bond	127	50	-21
HAZ 1mm	109	62	-31
HAZ 2mm	120	70	-28
HAZ 3mm	115	66	-18

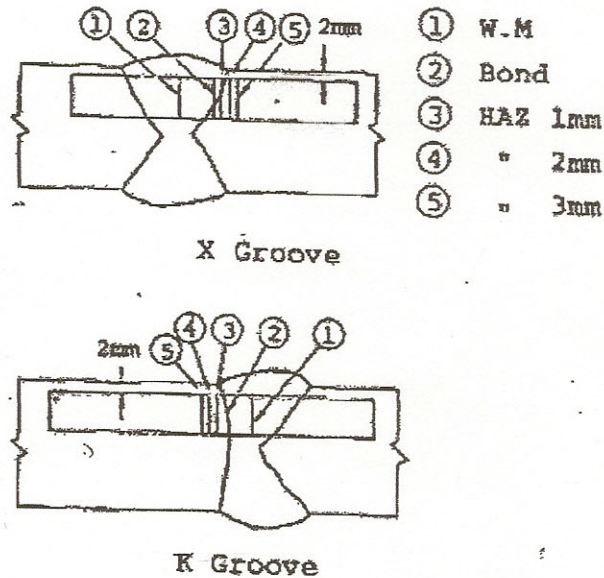


Fig. 3 Notch Position of Test Specimen



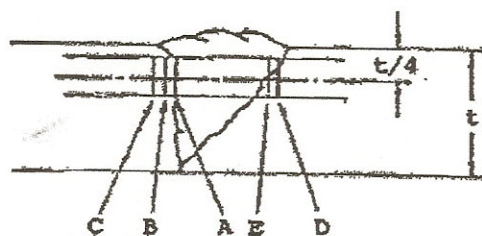
DATA SHEET

SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.

**SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate
for Penstock Pipes**

Table 8. 2mm V-Notch Charpy Test Results of Welded Joint (Plate Thick. 44.5mm)

Welding Method	SAW	
Heat Input (KJ/mm)	3.0 (V groove)	5.0 (V groove)
Notch Position	vE-30 (J)	vE-30 (J)
A	106	57
B	180	94
C	169	137
D	67	75
E	113	79



- A : Bond
- B : HAZ 1 mm
- C : HAZ 3 mm
- D : Bond (45° Direction)
- E : HAZ 1 mm (45° Direction)

Fig. 4 Notch Position of Test Specimen



DATA SHEET

SUMITOMO METAL
INDUSTRIES, LTD.

SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate
for Penstock Pipes

4.3.4 COD Test of Welded Joint

- (1) Plate Thickness: 32mm
- (2) Welding Condition
 - (a) Welding Method: SAW
 - (b) Groove Shape: K-Groove
 - (c) Heat Input: 4.5KJ/mm
- (3) Notch Position: Bond
- (4) Test Method: BS5762
- (5) Test Results: refer to Fig. 5

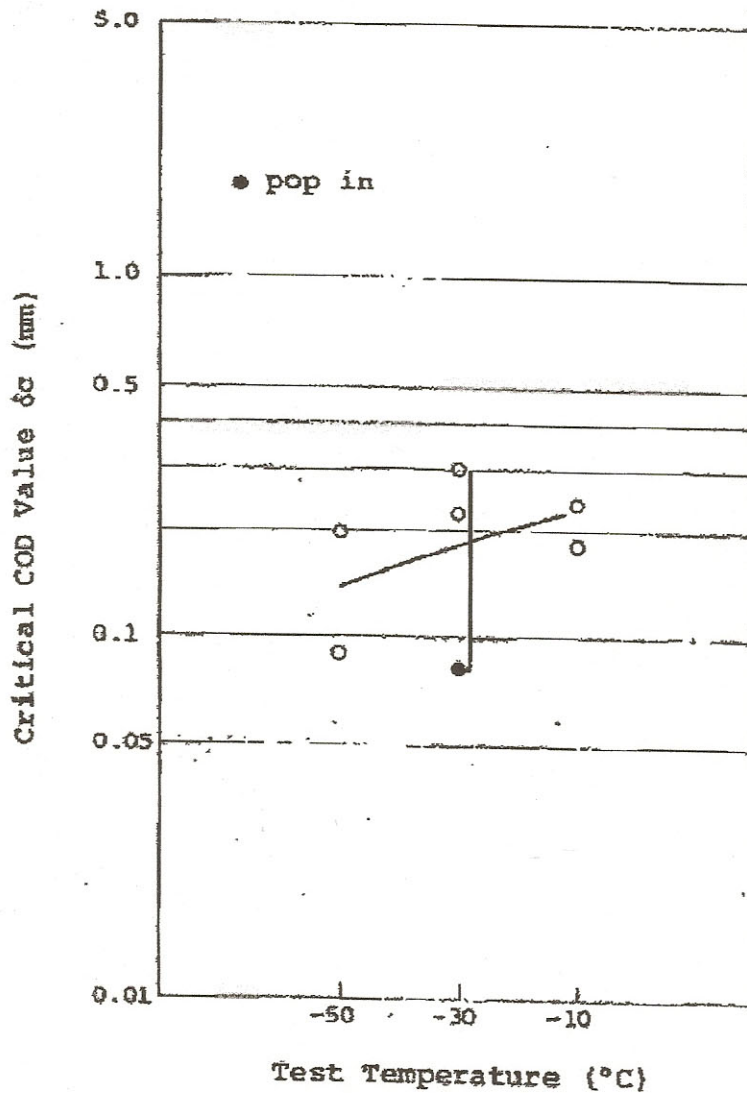


Fig. 5 COD Test Results of Welded Joint (Bond)



ANEXO VI:

REPORTES DE PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Soldexsa

INFORME TECNICO

ENSAYO DE DOBLEZ

Identificacion

CTSOL-D0140-2007

Fecha

23/10/2007

CLIENTE: IMECON

LUGAR DE PRUEBA: CTESOL - SOLDEXSA

SUPERVISADO POR: ING JORGE MERZTHAL T.

FECHA DE ENSAYO: 23-10-07

MUESTRA: 04 PROBETAS DOBLEZ LADO

DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

Medidas en milímetros

PROBETA	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD
DL-1	40	10	250
DL-2	40	10	250
DL-3	40	10	250
DL-4	40	10	250

RESULTADOS DE LA PRUEBA:

PROBETA	CARA	RAIZ	LADO	DISCONTINUIDAD
DL-1			C	NINGUNA
DL-2			C	NINGUNA
DL-3			C	NINGUNA
DL-4			C	NINGUNA

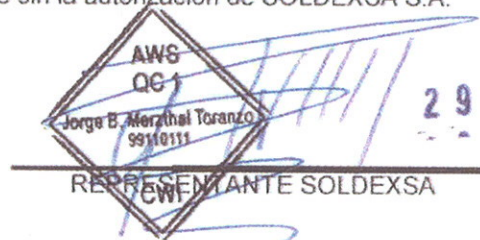
CONFORME : C

NO CONFORME : NC

OBSERVACIONES:

1. Norma Aplicada en el ensayo : ASME SECCION VIII
2. Diámetro del punzon (mm) / separacion de los rodillos (mm) : 63.5 // 85.8
3. Material Base : SUMITEN 780S
4. La(s) muestra(s) ensayada(s) fue(ron) entregada(s) por : IMECON
5. De acuerdo al cliente estas muestras pertenecen a los ensayos de dobles requeridos para:
PQR - 45

*Prohibida la reproduccion total o parcial de este informe sin la autorizacion de SOLDEXSA S.A.





ENSAYO DE TRACCIÓN

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 6

SOLICITADO POR : EXSA S.A.

DIRECCIÓN : Antigua Panamericana Sur Km. 38.5 - Lurin.

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 06.

MUESTRA : Probetas soldadas de acero.

FECHA : 2007.10.23.

RESULTADOS:

MUESTRA		1A	1B
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.90	19.33
	b (mm)	15.9	15.9
	ÁREA (mm ²)	316.2	307.2
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	258.9	258.9
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	819	843
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras 1A y 1B rompieron en la Línea de Fusión.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Espesor: 40 mm; Posición: 1G; Proceso: SAW.
- . IMECON PQR - 45 / IMECON WPS - 60.

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



ENSAYO DE TRACCIÓN

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 6

SOLICITADO POR : EXSA S.A.

DIRECCIÓN : Antigua Panamericana Sur Km. 38.5 - Lurín.

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 06.

MUESTRA : Probetas soldadas de acero.

FECHA : 2007.10.23.

RESULTADOS:

MUESTRA		2A	2B
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.50	19.41
	b (mm)	15.2	15.6
	ÁREA (mm ²)	297.2	303.0
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	244.9	251.6
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	824	830
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

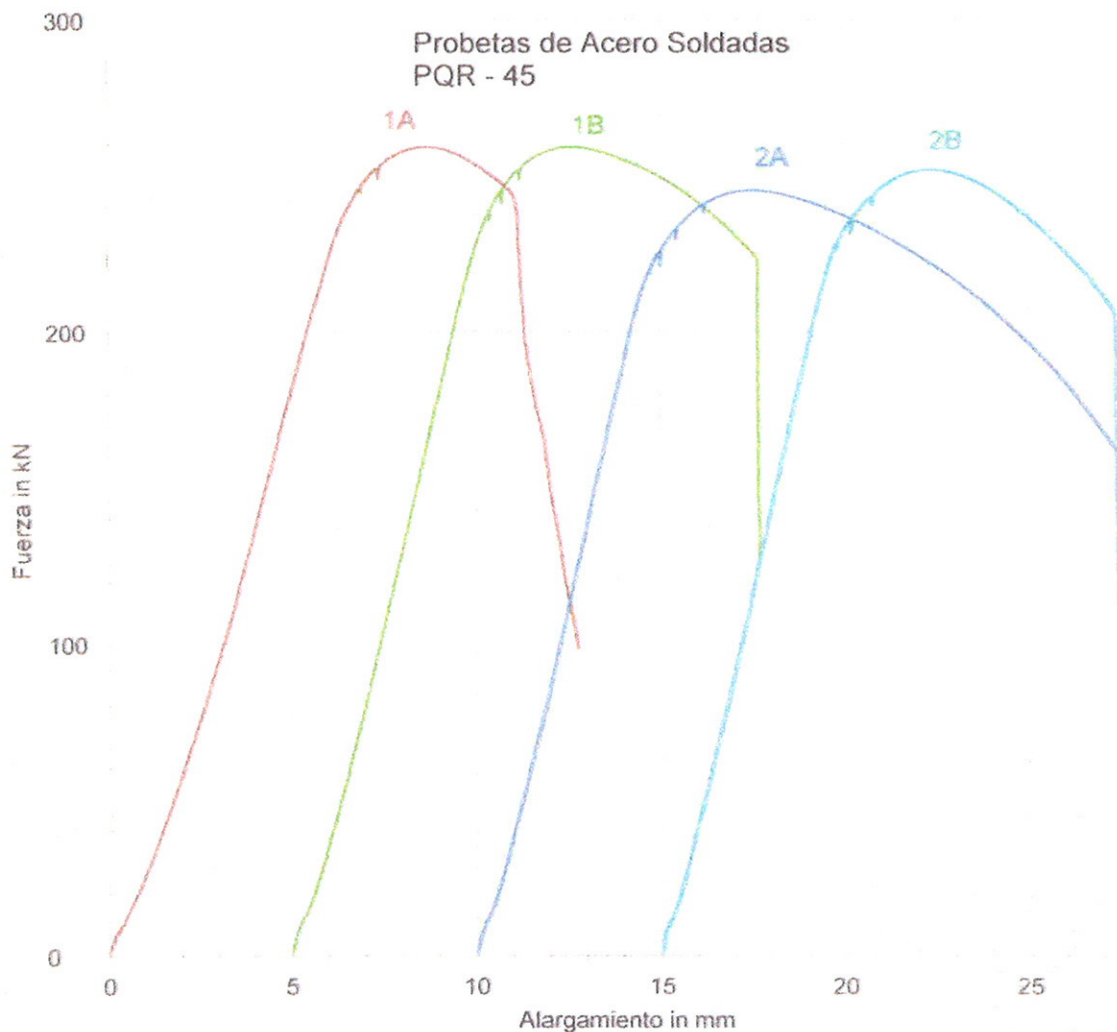
- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras 2A rompió en el Metal de Aporte y 2B en la Zona Afectada.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Espesor: 40 mm; Posición: 1G; Proceso: SAW.
- . IMECON PQR - 45 / IMECON WPS - 60.

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

MAT-OCT-0676/2007



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO OIP 11658
Jefe de Laboratorio de Materiales

3 de 6

MAT-OCT-0649/2007

ENSAYO DE IMPACTO

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 07.
TIPO DE ENSAYO : CHARPY.
MUESTRA : Probetas de acero soldadas (proceso SAW).
FECHA : 2007.10.23.

RESULTADOS:

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORBIDA (JOULE)	EXPANSIÓN LATERAL (mm)
MA 1	-20	120	1,49
MA 2	-20	90	1,16
MA 3	-20	98	1,17
ZAC 1	-20	193	1,97
ZAC 2	-20	159	1,54
ZAC 3	-20	193	1,80

Fecha de Ejecución: 2007.10.19.

OBSERVACIONES:

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E23 – 07.
- Código de referencia: ASME VIII: 2004.
- IMECON/WPS-60.
- IMECON/PQR-45.
- Material: SUMITEN 780S.
- Posición de prueba: 1G.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO OIP 33858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ANÁLISIS MACROGRÁFICO**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

SOLICITADO POR : IMECON S.A.**DIRECCIÓN :** Av. Maquinarias 2977 - Lima.**REALIZADO POR :** Laboratorio de Materiales - Analista 07.**MUESTRA :** Probetas de acero soldadas (proceso SAW).**FECHA :** 2007.10.23.**ZONA ANALIZADA:**

- > **Sección :** Transversal a la soldadura.
- > **Preparación :** Mecánica.
- > **Ataque Químico :** Nital al 10%.

OBSERVACIÓN METALOGRÁFICA:

- > **Aumentos :** 10X
- > **Macroestructura :** Soldadura a tope con canal de penetración completa.
- > **Material :** Acero al carbono soldado.
- > **Discontinuidades :** Sólo no relevantes.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra analizada fue proporcionada por el solicitante.
- Fotos N° 1 y 2 corresponden a dos secciones transversales de la muestra.
- Código de referencia: ASME IX: 2004.
- IMECON/WPS-60.
- IMECON/PQR-45.
- Material: SUMITEN 780S.
- Posición de prueba: 1G.

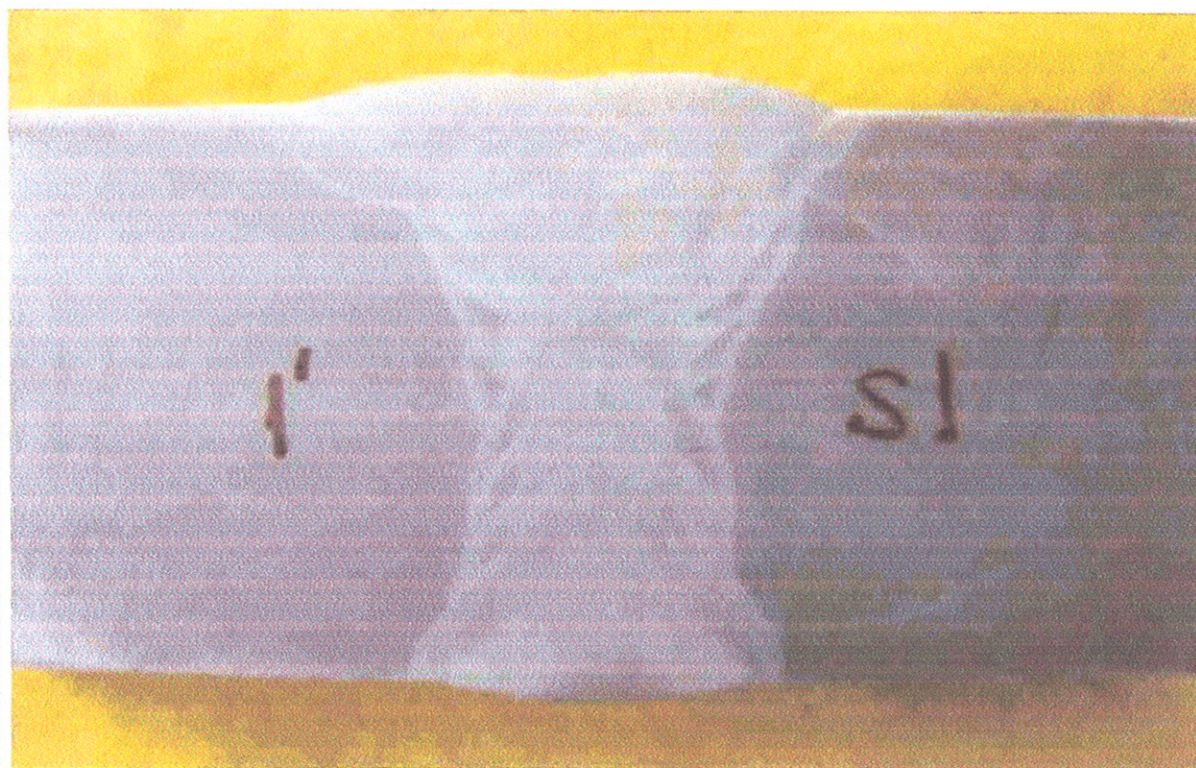
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica
ING. ING. ROBERTO LAZARTE CAMERO DIP. 11858
 jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

MAT-OCT-0649/2007

FOTOMACROGRAFÍA N° 1

AUMENTOS: 2X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica



MSc. Ing. **ROBERTO LAZARTE GAMERO** *CP* *TEC*
Jefe de Laboratorio de Materiales

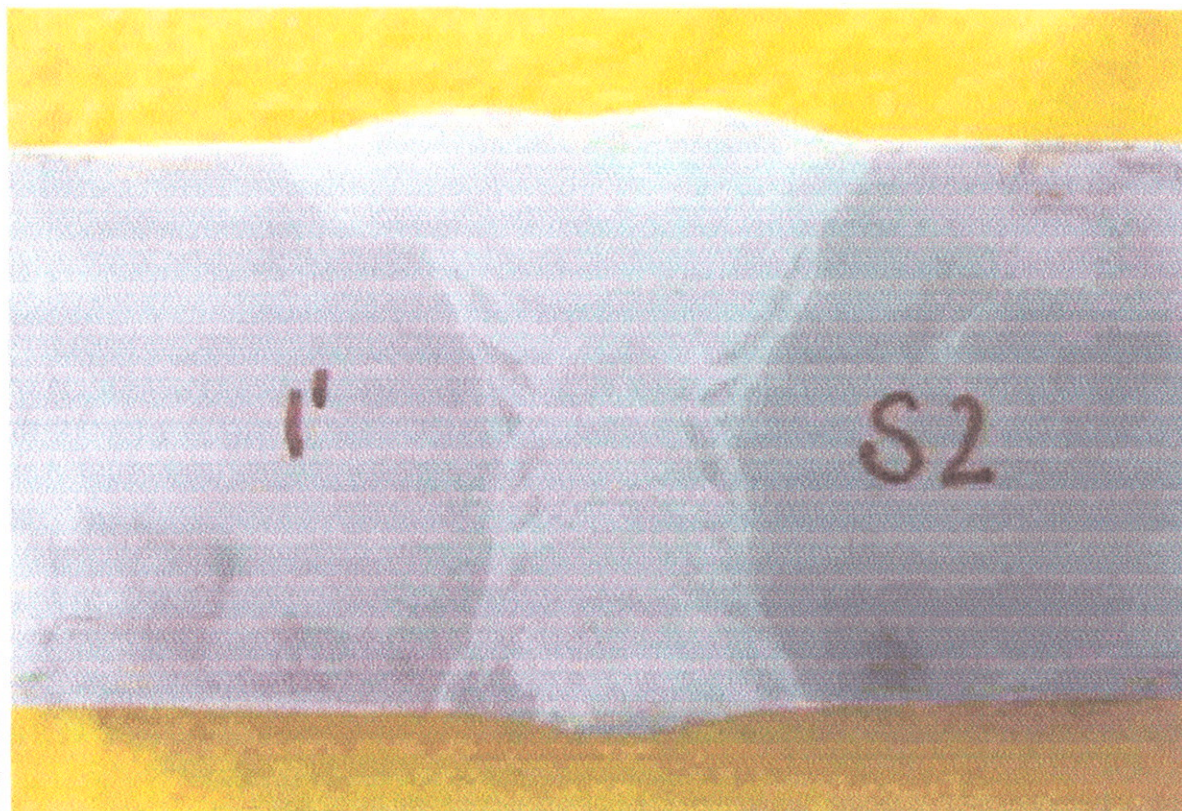
Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

3 de 14

MAT-OCT-0649/2007

FOTOMACROGRAFÍA N° 2

AUMENTOS: 2X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica


MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE CAMARGO CIP 11858
Jefe del Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

4 de 14

MAT-OCT-0649/2007

ENSAYO DE DUREZA

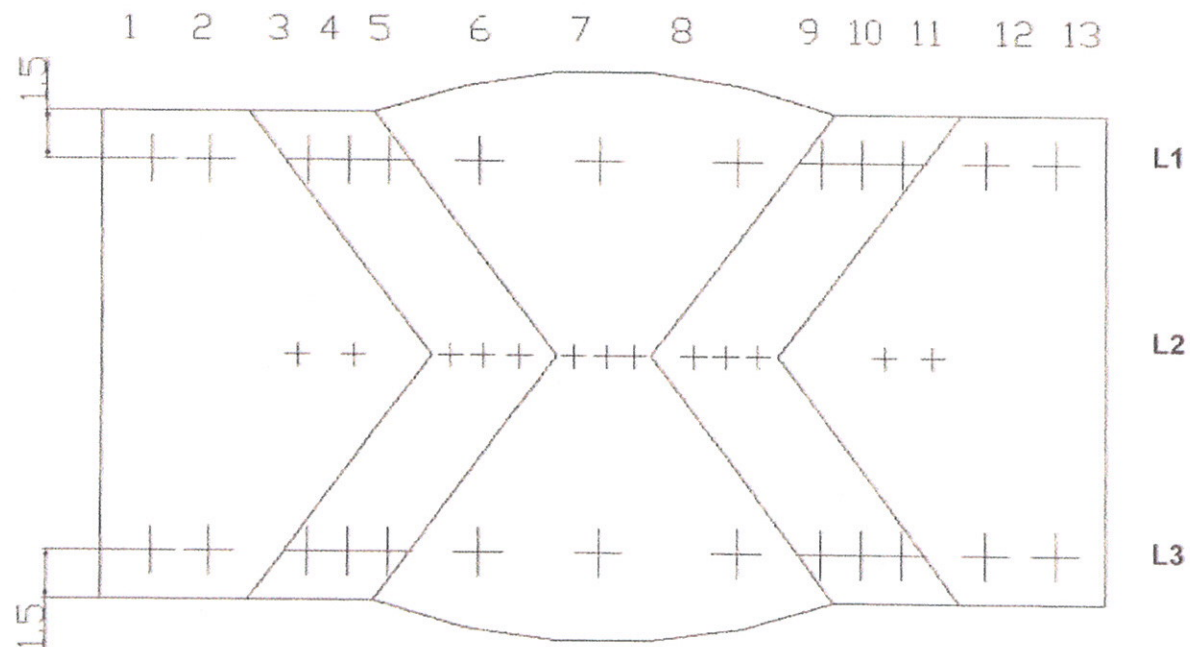
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
 DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
 REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 09.
 TIPO DE ENSAYO : VICKERS.
 MUESTRA : MUESTRA SOLDADA 1 - S1.
 FECHA : 2007.10.23.

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	260	256	258.0	279	---
2	254	259	256.5	282	---
3	279	286	282.5	232	---
4	241	238	239.5	323	---
5	270	273	271.5	252	---
6	269	271	270.0	254	---
7	280	281	280.5	236	---
8	269	275	272.0	251	---
9	258	263	260.5	273	---
10	260	262	261.0	272	---
11	284	290	287.0	225	---
12	255	259	257.0	281	---
13	253	258	255.5	284	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica


MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO OIP 13058
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

MAT-OCT-0649/2007

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	251	252	251.5	293	---
2	247	254	250.5	296	---
3	275	277	276.0	243	---
4	265	268	266.5	261	---
5	245	250	247.5	303	---
6	262	262	262.0	270	---
7	264	265	264.5	265	---
8	265	264	264.5	265	---
9	246	253	249.5	298	---
10	256	254	255.0	285	---
11	273	278	275.5	244	---
12	253	256	254.5	286	---
13	250	247	248.5	300	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica


ING. Mg. ROBERTO LAZARTE CAMERO CIP 33858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	259	259	259.0	276	---
2	252	261	256.5	282	---
3	293	286	289.5	221	---
4	242	245	243.5	313	---
5	245	242	243.5	313	---
6	266	262	264.0	266	---
7	254	258	256.0	283	---
8	260	266	263.0	268	---
9	244	242	243.0	314	---
10	266	263	264.5	265	---
11	298	294	296.0	212	---
12	258	257	257.5	280	---
13	256	254	255.0	285	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.18.

OBSERVACIONES:

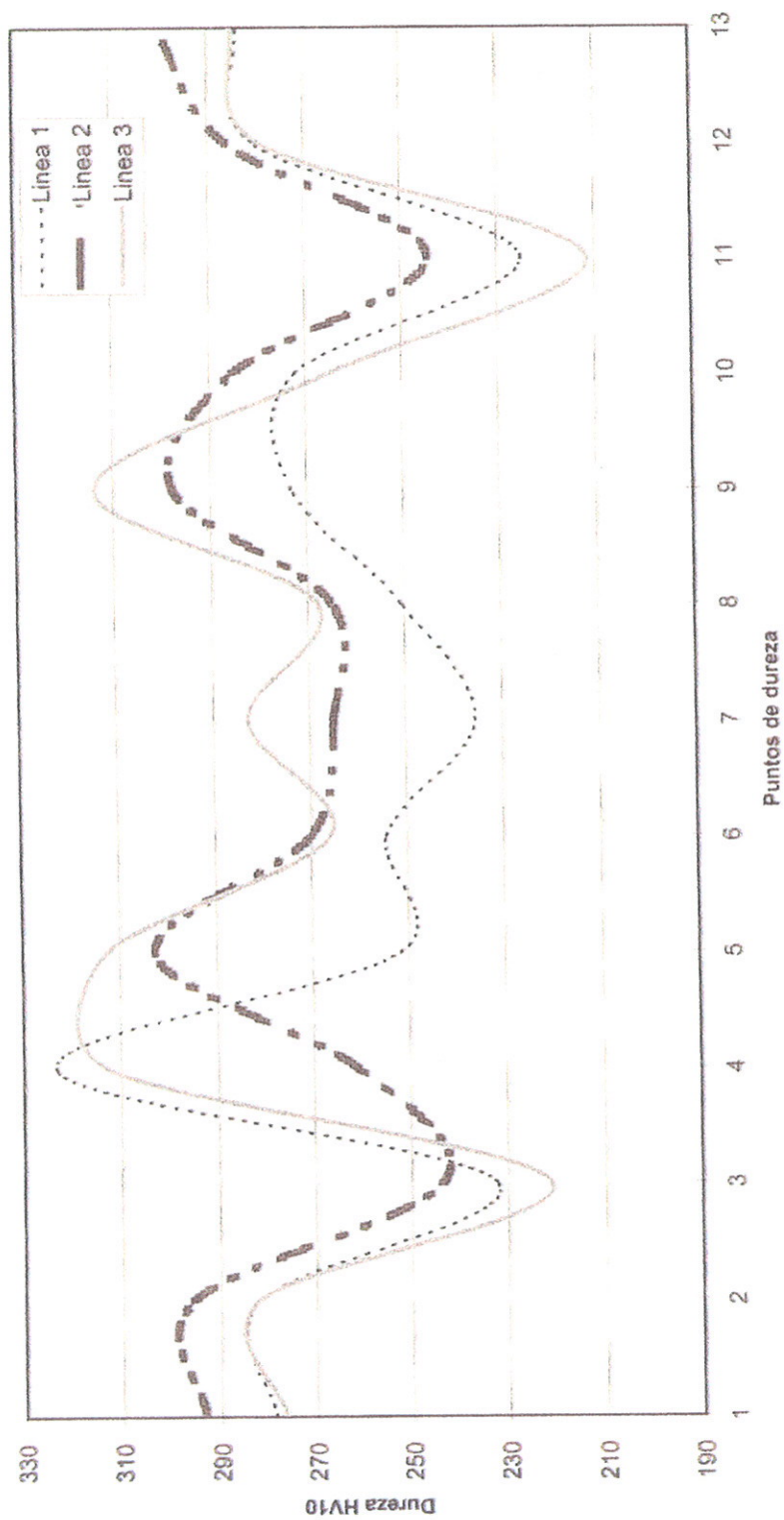
- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 – 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.3 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición: ± 1,20 HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95%.
- WPS: IMECON/WPS-60 (SAW).
- PQR: IMECON/PQR-45.
- Material base: SUMITEN 780S espesor 40 mm.
- Estampa: S-259.
- Posición de prueba 1G.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

[Firma]
MSc. Ing. ROBERTO LAGARTE GAMERO CIP 11862
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Muestra 1 - S1
Dureza Vickers HV10



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 13858
Jefe de Laboratorio de Materiales



MAT-OCT-0649/2007

ENSAYO DE DUREZA

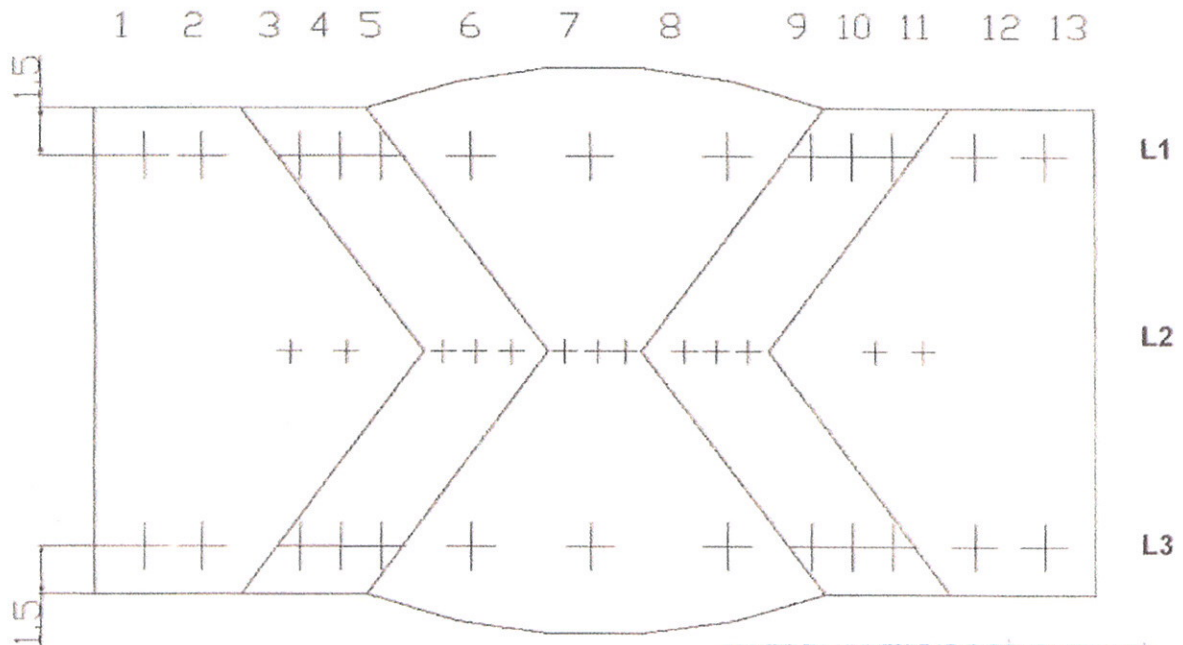
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
 DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
 REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 09.
 TIPO DE ENSAYO : VICKERS.
 MUESTRA : MUESTRA SOLDADA 1 – S2.
 FECHA : 2007.10.23.

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

[Signature]
MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GARCÍA OF HIRSE
Jefe del Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (μm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d_1	d_2	d_{prom}		
1	238	241	239.5	323	---
2	246	251	248.5	300	---
3	254	255	254.5	286	---
4	232	236	234.0	339	---
5	267	264	265.5	263	---
6	252	249	250.5	296	---
7	258	261	259.5	275	---
8	259	260	259.5	275	---
9	230	240	235.0	336	---
10	249	260	254.5	286	---
11	262	277	269.5	255	---
12	240	246	243.0	314	---
13	242	252	247.0	304	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica


MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 14858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	249	252	250.5	296	---
2	246	250	248.0	302	---
3	256	265	260.5	273	---
4	274	275	274.5	246	---
5	248	247	247.5	303	---
6	257	261	259.0	276	---
7	253	256	254.5	286	---
8	261	260	260.5	273	---
9	261	262	261.5	271	---
10	265	263	264.0	266	---
11	266	272	269.0	256	---
12	251	253	252.0	292	---
13	252	257	254.5	286	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica


MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO D.P. 14858
Jefe del Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 14

RESULTADOS:

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	253	252	252.5	291	---
2	254	251	252.5	291	---
3	254	257	255.5	284	---
4	240	243	241.5	318	---
5	264	266	265.0	264	---
6	259	257	258.0	279	---
7	248	250	249.0	299	---
8	248	252	250.0	297	---
9	276	268	272.0	251	---
10	234	242	238.0	327	---
11	249	251	250.0	297	---
12	250	252	251.0	294	---
13	254	251	252.5	291	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.18.

OBSERVACIONES:

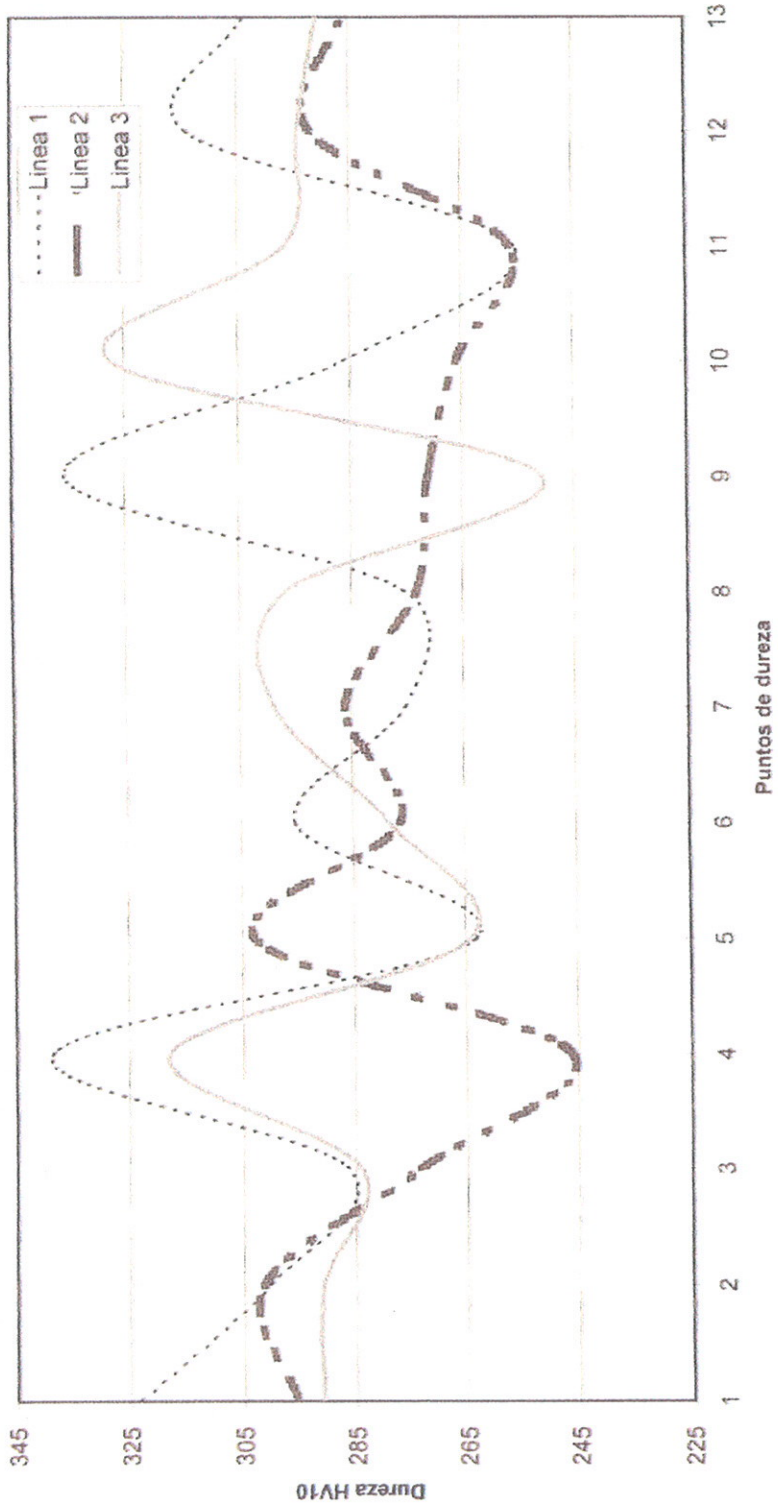
- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 – 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.8 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición: ± 1,20 HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95%.
- WPS: IMECON/WPS-60 (SAW).
- PQR: IMECON/PQR-45.
- Material base: SUMITEN 780S espesor 40 mm.
- Estampa: S-259.
- Posición de prueba 1G.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSr. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO O.P. 13858

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Muestra 1 - S2
Dureza Vickers HV10



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GABERO CIP 33958
Laboratorio de Materiales

MAT-DIC-0837/2007

ENSAYO DE TRACCIÓN

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 10.
MUESTRA : Probetas Soldadas (WPS 64).
FECHA : 2007.12.17.

RESULTADOS:

MUESTRA		T1	T2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.08	19.03
	ESPESOR (mm)	13.24	13.22
	ÁREA (mm ²)	252.6	251.6
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	205.0	208.6
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	812	829
LONGITUD INICIAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
LONGITUD FINAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.12.17.

OBSERVACIONES:

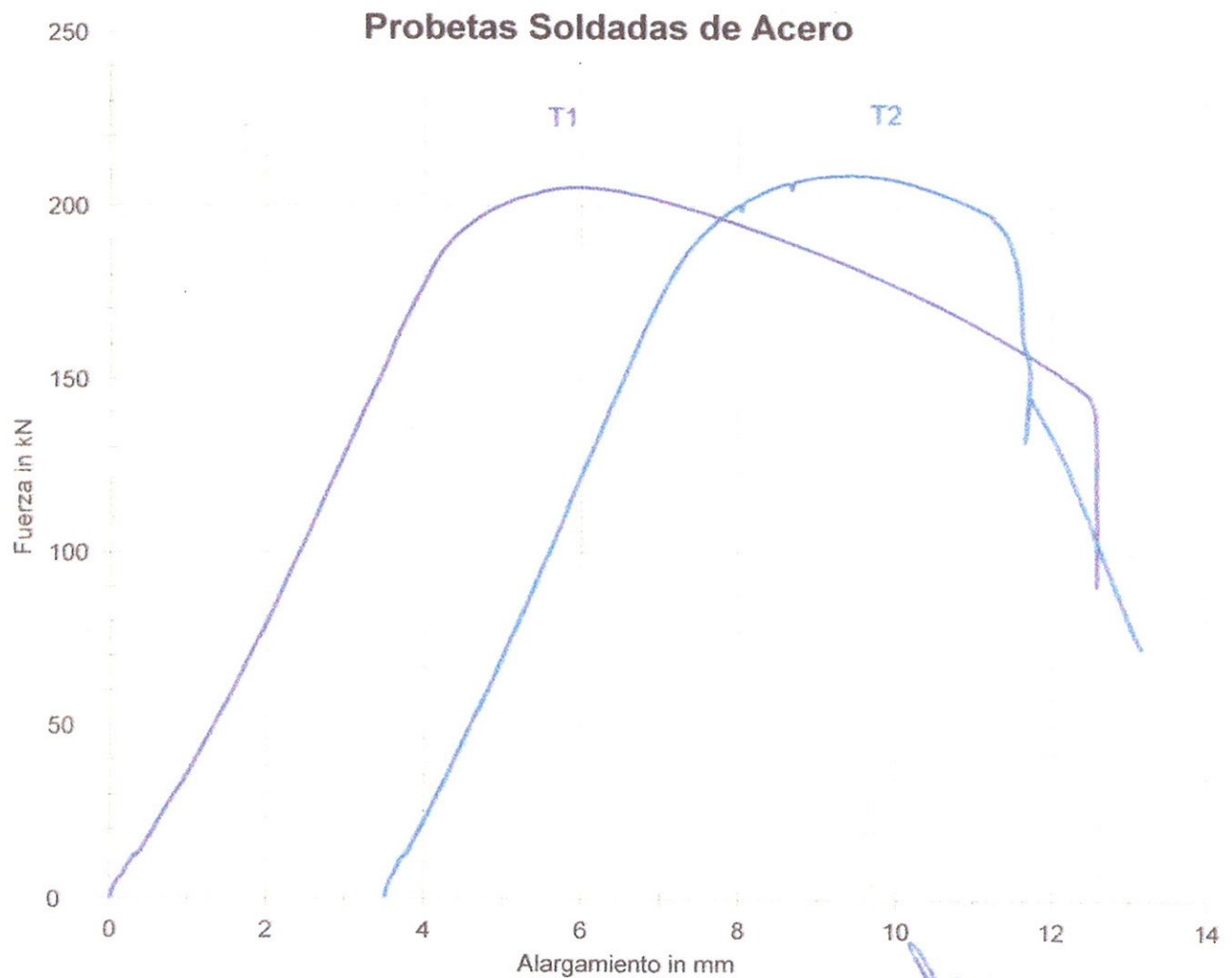
- . Condición de las muestras: Zona de ensayo normalizada.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: ASME IX - 2004.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.9 °C.
- . La muestra T1 rompió en el metal soldado.
- . La muestra T2 rompió en la línea de fusión.

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica
[Handwritten Signature]

MAT-DIC-0837/2007



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

2 de 18

ROBERTO ALVARADO CIP 33558

MAT-DIC-0837/2007

ENSAYO DE TRACCIÓN

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.

DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 10.

MUESTRA : Probetas Soldadas (WPS 64).

FECHA : 2007.12.17.

RESULTADOS:

MUESTRA		T3	T4
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.11	19.14
	ESPESOR (mm)	13.17	13.20
	ÁREA (mm ²)	251.7	252.6
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	206.0	204.5
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	818	809
LONGITUD INICIAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
LONGITUD FINAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.12.17.

OBSERVACIONES:

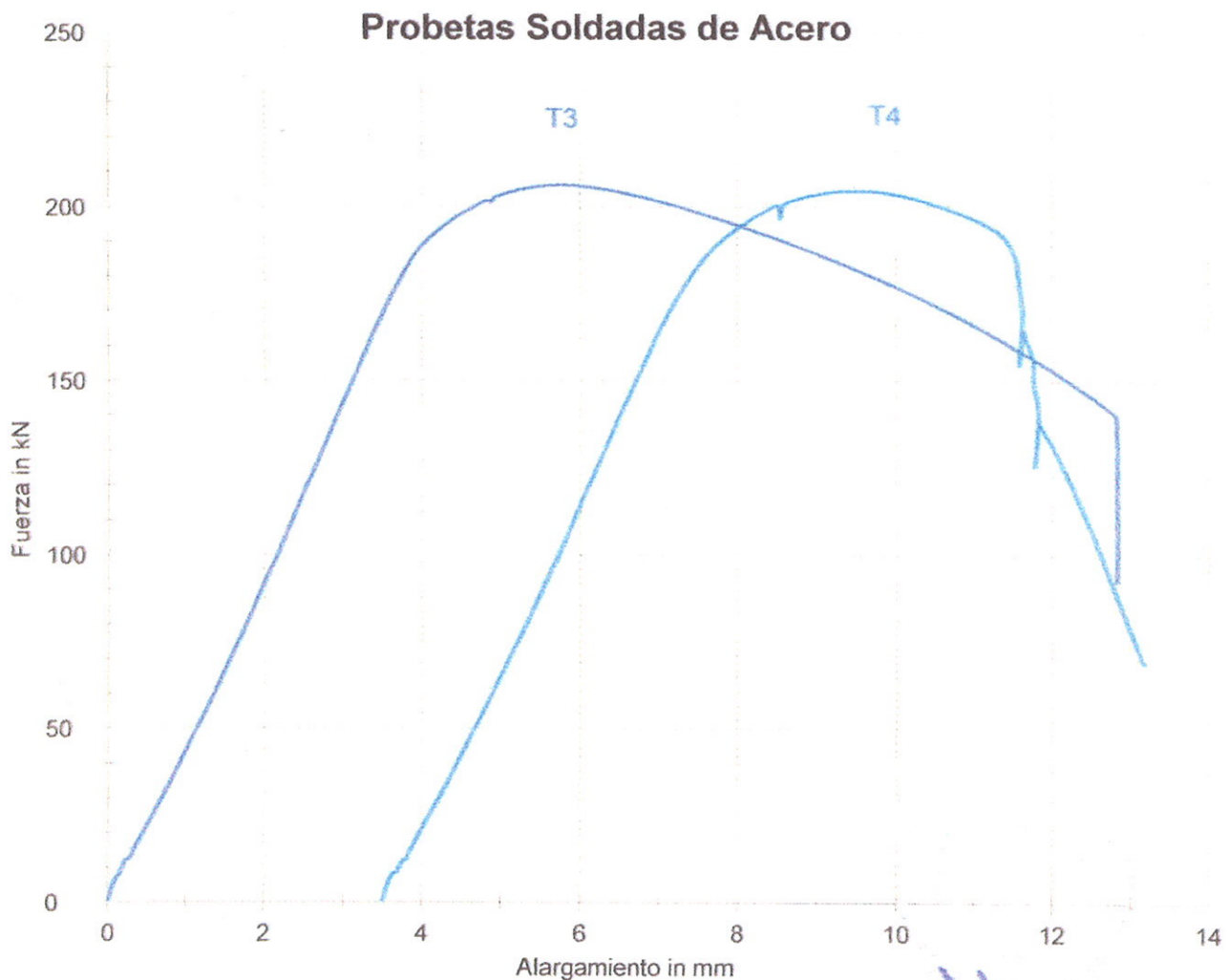
- . Condición de las muestras: Zona de ensayo normalizada.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: ASME IX - 2004.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.9 °C.
- . La muestra T3 rompió en el metal soldado.
- . La muestra T4 rompió en la línea de fusión.

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

MAT-DIC-0837/2007



4 de 18

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Msc. Ing. ROBERTO LAZARO GONZALEZ CIP 12856
Jefe de Laboratorio de Materiales

MAT-DIC-0837/2007

ENSAYO DE IMPACTO

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analistas 07 Y 10.
TIPO DE ENSAYO : CHARPY.
MUESTRA : Probetas de acero soldadas (proceso GMAW).
FECHA : 2007.12.19.

RESULTADOS:

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORBIDA (JOULE)	EXPANSIÓN LATERAL (mm)
MA 1	-20	111	1.41
MA 2	-20	120	1.70
MA 3	-20	120	1.40
ZAC 1	-20	148	1.61
ZAC 2	-20	160	1.73
ZAC 3	-20	131	1.61

Fecha de Ejecución: 2007.12.18.

OBSERVACIONES:

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E23 – 07.
- Código de referencia: ASME VIII: 2004.
- PROCESO: GMAW. MARCA: LINCOLN.
- PQR: IMECON/PQR-50. WPS: IMECON/WPS-64.
- POSICION DE PRUEBA: 1G
- MATERIAL BASE: SUMITEN 780S.
- MATERIAL DE APORTE: ER100S-G (AWS A5.28).

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ANÁLISIS MACROGRÁFICO**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.**DIRECCIÓN :** Av. Maquinarias 2977 - Lima.**REALIZADO POR :** Laboratorio de Materiales - Analista 07.**MUESTRA :** Probetas de acero soldadas.**FECHA :** 2007.12.19.**ZONA ANALIZADA:**

- > **Sección :** Transversal a la soldadura.
- > **Preparación :** Mecánica.
- > **Ataque Químico :** Nital al 10%.

OBSERVACIÓN METALGRÁFICA:

- > **Aumentos :** 10X
- > **Macroestructura :** Soldadura a tope con canal de penetración completa.
- > **Material :** Acero al carbono soldado.
- > **Discontinuidades :** Sólo no relevantes.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra analizada fue proporcionada por el solicitante.
- Fotos N° 1 y 2 corresponden a dos secciones transversales de la muestra.
- Código de referencia: ASME IX: 2004.
- PROCESO: GMAW MARCA: LINCOLN.
- PQR: IMECON/PQR-50 WPS: IMECON/WPS-64.
- POSICION DE PRUEBA: 1G
- MATERIAL BASE: SUMITEN 780S
- MATERIAL DE APORTE: ER100S-G (AWS A5.28).

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

6 de 18



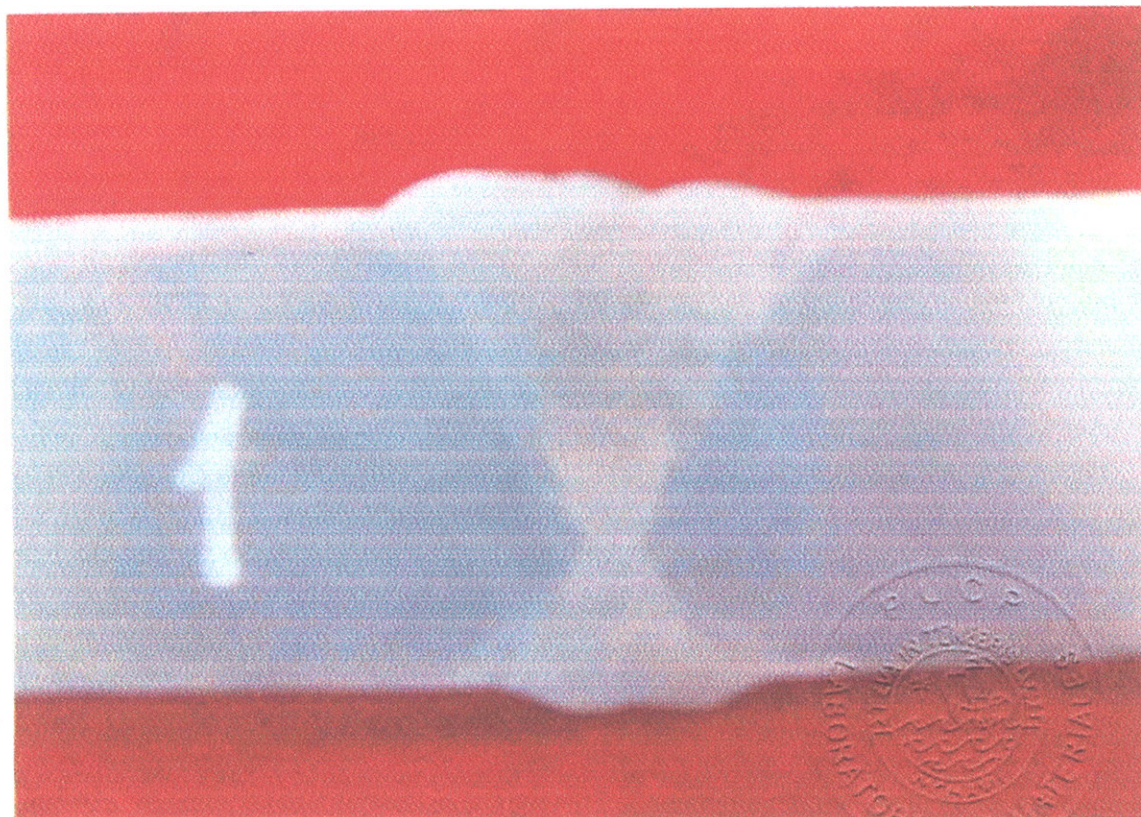
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica



Ing. ROBERTO LAZARTE CAMERO CP 33658
Jefe de Laboratorio de Materiales

FOTOMACROGRAFÍA N° 1

AUMENTOS: 2X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

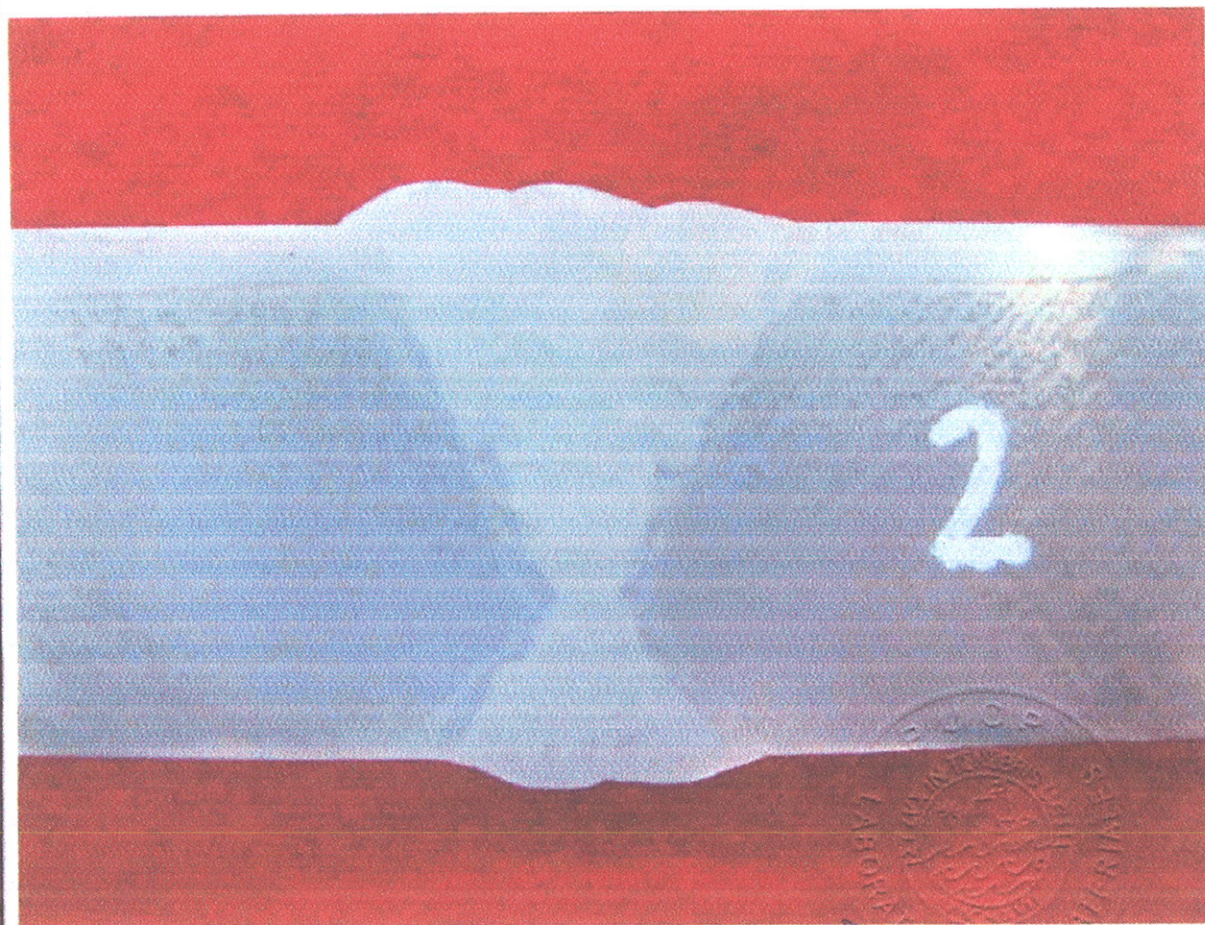
MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO O.P. 27865
Instituto de Investigación de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

7 de 18

FOTOMACROGRAFÍA N° 2

AUMENTOS: 2X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIV 13856
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8 de 18



CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-DIC-0837/2007

ENSAYO DE DUREZA

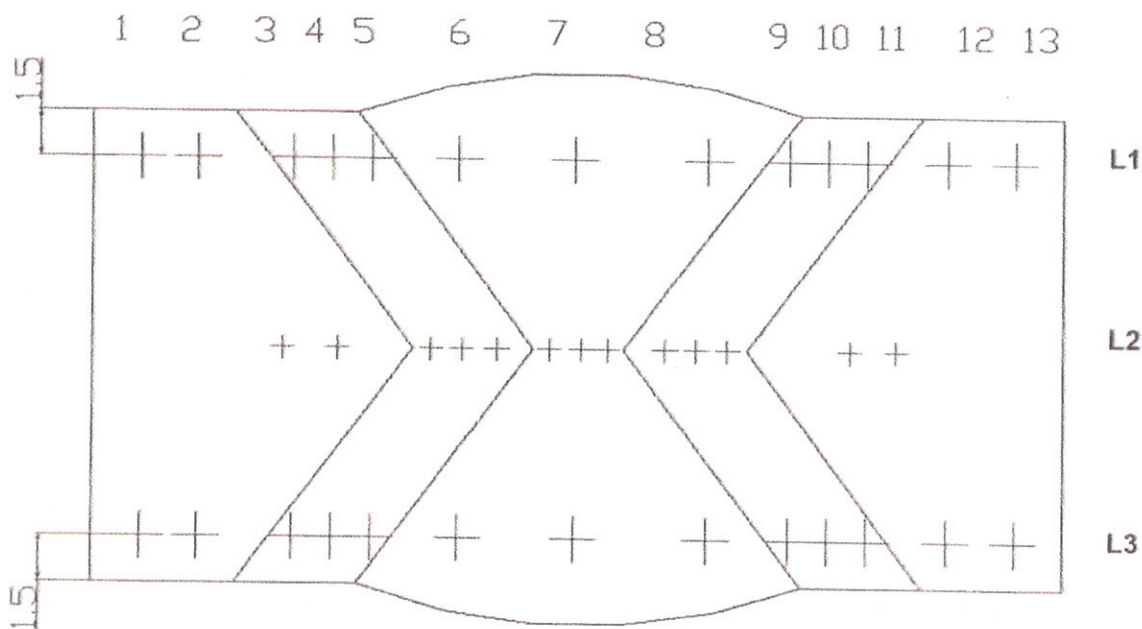
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
 DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
 REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analistas 07 y 10.
 TIPO DE ENSAYO : VICKERS.
 MUESTRA : Probeta de acero soldada (**Muestra S1**).
 FECHA : 2007.12.18.

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:



Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	266	274	270.0	254	---
2	275	280	277.5	241	---
3	224	229	226.5	361	---
4	215	219	217.0	394	---
5	213	219	216.0	397	---
6	254	257	255.5	284	---
7	273	271	272.0	251	---
8	254	257	255.5	284	---
9	216	225	220.5	381	---
10	215	231	223.0	373	---
11	226	230	228.0	357	---
12	271	282	276.5	243	---
13	282	285	283.5	231	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 11858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (μm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d_1	d_2	d_{prom}		
1	274	273	273.5	248	---
2	279	278	278.5	239	---
3	237	233	235.0	336	---
4	218	221	219.5	385	---
5	222	220	221.0	380	---
6	253	251	252.0	292	---
7	262	261	261.5	271	---
8	250	247	248.5	300	---
9	216	218	217.0	394	---
10	218	216	217.0	394	---
11	223	227	225.0	366	---
12	258	262	260.0	274	---
13	261	259	260.0	274	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE CAMERO CIP 3385P
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	262	266	264.0	266	---
2	263	261	262.0	270	---
3	262	265	263.5	267	---
4	235	238	236.5	332	---
5	232	235	233.5	340	---
6	263	259	261.0	272	---
7	254	255	254.5	286	---
8	269	273	271.0	253	---
9	217	218	217.5	392	---
10	220	223	221.5	378	---
11	243	247	245.0	309	---
12	261	265	263.0	268	---
13	262	263	262.5	269	---

Fecha de Ejecución: 2007.12.18.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 - 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 23 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición: ± 1,20 HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95%.
- PROCESO: GMAW. MARCA: LINCOLN.
- PQR: IMECON/PQR-50. WPS: IMECON/WPS-64.
- POSICION DE PRUEBA: 1G.
- MATERIAL BASE: SUMITEN 780S.
- MATERIAL DE APORTE: ER100S-G (AWS A5.28).

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

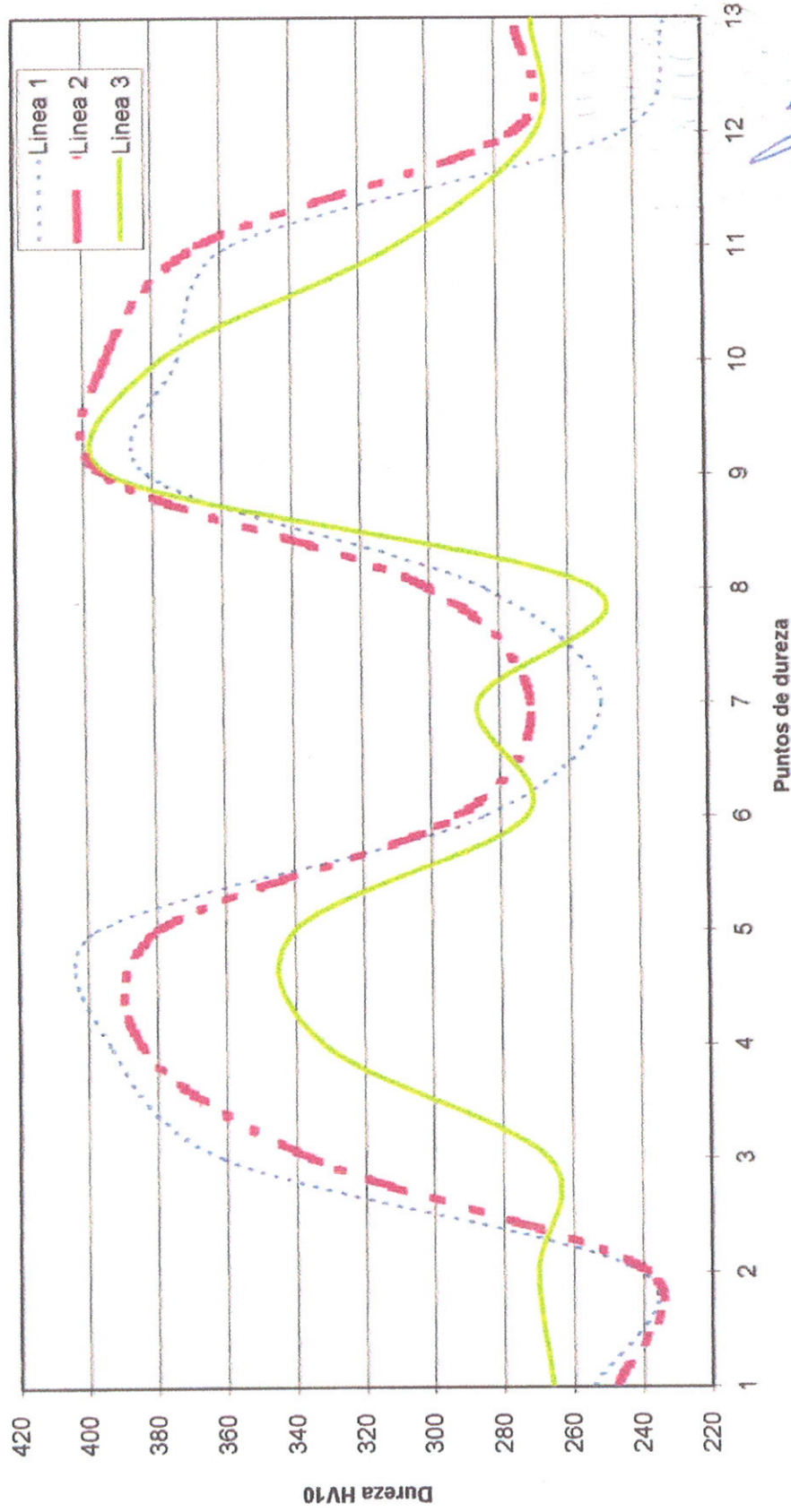
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

12 de 18

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Ing. ROBERTO LAZARI GAMERO CIP 13887
Teléfono: Jefe de Laboratorio de Materiales
(511) 626 - 2000 (511) 626 - 2855
Anexo: 4842

Muestra S1
Dureza Vickers HV10



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Facultad de Ingeniería y Medicina

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 13851
Jefe de Laboratorio de Materiales

ENSAYO DE DUREZA

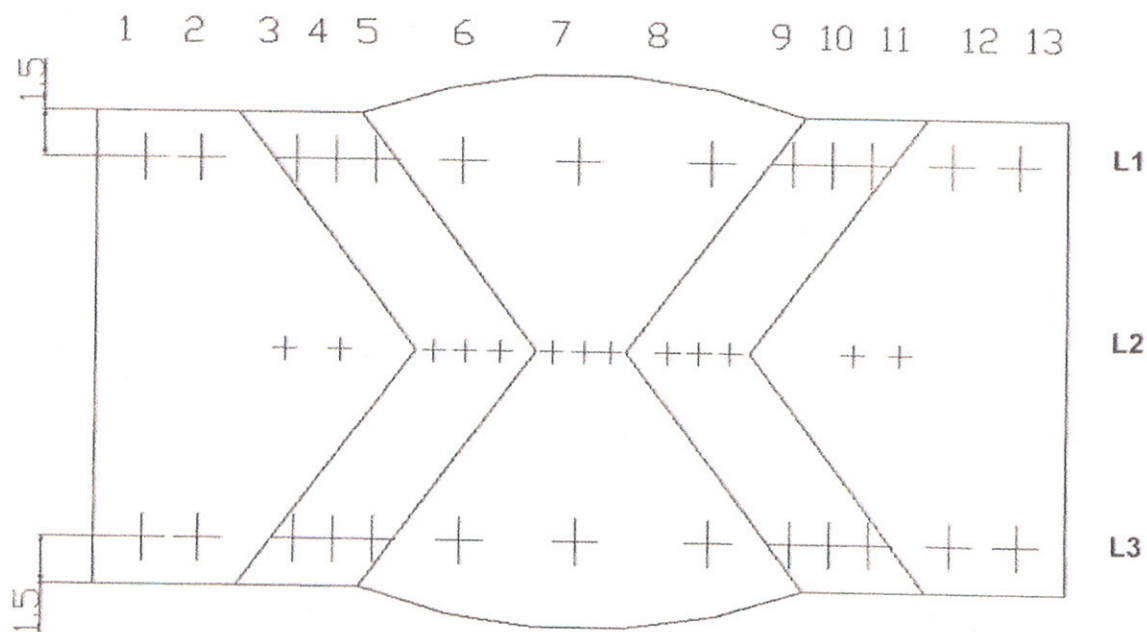
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

SOLICITADO POR : IMECON S.A.
DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2977 - Lima.
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analistas 07 y 10.
TIPO DE ENSAYO : VICKERS.
MUESTRA : Probeta de acero soldada (**Muestra S2**).
FECHA : 2007.12.18.

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:



Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

14 de 18

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Ing. ROBERTO LAZARTE NÚMERO CIP 33844
Jefe de Laboratorio de Materiales

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	258	272	265.0	264	---
2	264	274	269.0	256	---
3	219	230	224.5	368	---
4	216	225	220.5	381	---
5	224	237	230.5	349	---
6	254	257	255.5	284	---
7	276	277	276.5	243	---
8	252	260	256.0	283	---
9	214	229	221.5	378	---
10	214	224	219.0	387	---
11	228	243	235.5	334	---
12	267	281	274.0	247	---
13	269	287	278.0	240	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 Sección Ingeniería Mecánica
 MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GANERO OIP 1385F
 Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	262	264	263.0	268	---
2	263	264	263.5	267	---
3	265	269	267.0	260	---
4	245	253	249.0	299	---
5	227	226	226.5	361	---
6	254	255	254.5	286	---
7	253	254	253.5	289	---
8	260	260	260.0	274	---
9	244	246	245.0	309	---
10	258	262	260.0	274	---
11	256	264	260.0	274	---
12	257	261	259.0	276	---
13	261	265	263.0	268	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LASARTÉ CAMERO CIP 11858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ENSAYO DE DUREZA
INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 18

RESULTADOS:

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	260	267	263.5	267	---
2	275	280	277.5	241	---
3	249	250	249.5	298	---
4	228	226	227.0	360	---
5	222	223	222.5	375	---
6	257	258	257.5	280	---
7	274	270	272.0	251	---
8	252	250	251.0	294	---
9	217	220	218.5	388	---
10	216	217	216.5	396	---
11	216	219	217.5	392	---
12	258	261	259.5	275	---
13	256	264	260.0	274	---

Fecha de Ejecución: 2007.11.08.

OBSERVACIONES:

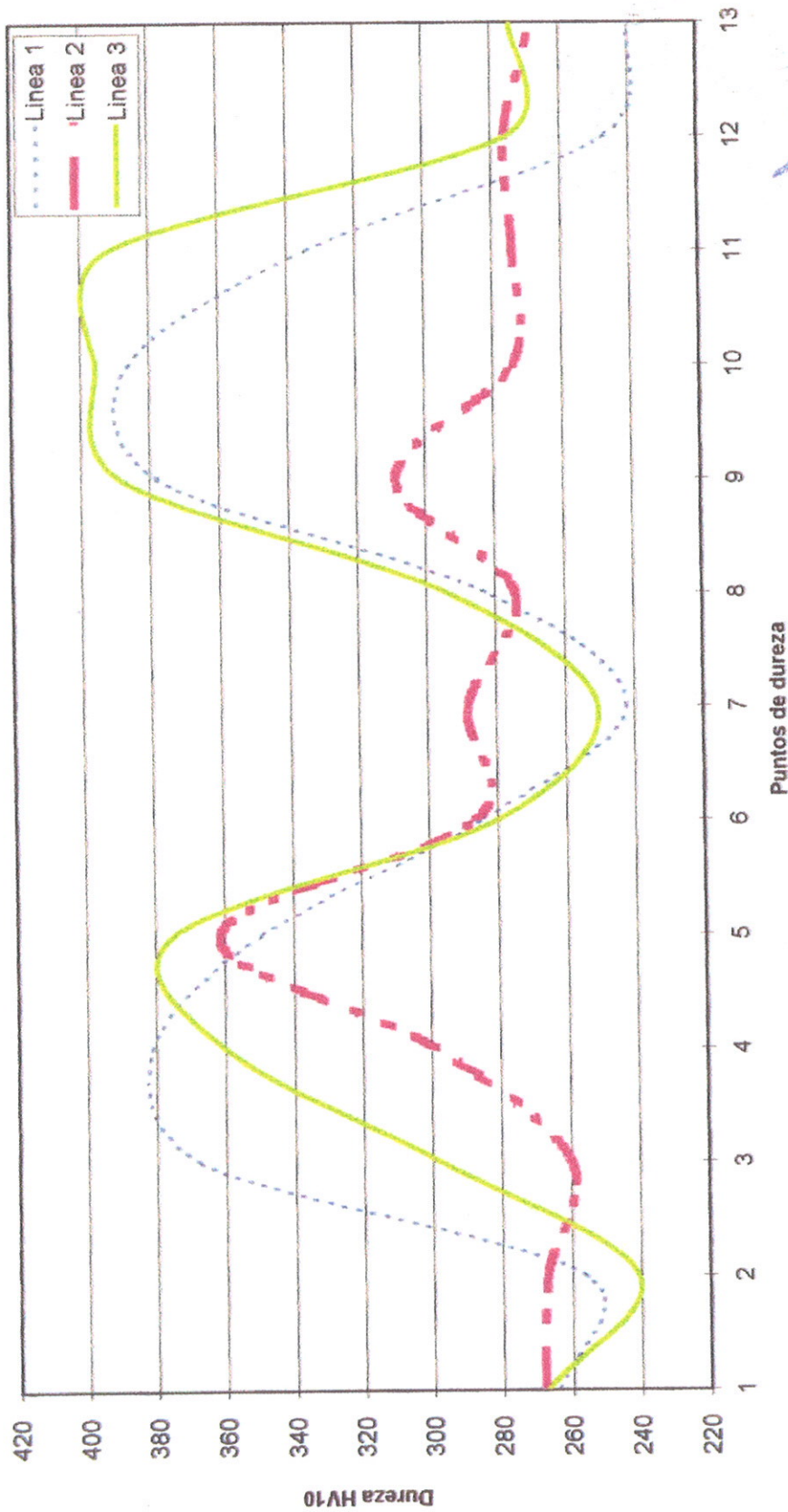
- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 – 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 23 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición: ± 1,20 HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95%.
- PROCESO: GMAW. MARCA: LINCOLN.
- PQR: IMECON/PQR-50. WPS: IMECON/WPS-64.
- POSICION DE PRUEBA: 1G.
- MATERIAL BASE: SUMITEN 780S.
- MATERIAL DE APORTE: ER100S-G (AWS A5.28).

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Muestra S2
Dureza Vickers HV10



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Sección de Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE CAMERO CIP 33852
Jefe de Laboratorio de Materiales