

TRABAJO ESPECIAL

CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA TUBERÍAS DE ACERO AL CROMO-MOLIBDENO (9Cr-1Mo).

**Trabajo presentado ante la
ilustre Universidad Central de
Venezuela por el Bachiller:
Carlos Manuel Suárez Celma.
Para optar al título de Ingeniero
Mecánico.**

Caracas, 2002.

TRABAJO ESPECIAL

CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA TUBERÍAS DE ACERO AL CROMO-MOLIBDENO (9Cr-1Mo).

**Tutor Académico: Ing. Vicente Ignoto.
Tutor Industrial: Ing. Rafael Rengifo.**

**Trabajo presentado ante la
ilustre Universidad Central de
Venezuela por el Bachiller:
Carlos Manuel Suárez Celma.
Para optar al título de Ingeniero
Mecánico.**

Caracas, 2002.

A Dios y a la Virgen.

A mis padres, por habernos dado las mejores bases a mis hermanos y a mí, enseñándonos los valores del trabajo y de la familia, encaminándonos al éxito en las diferentes disciplinas que nos propongamos y siendo siempre un ejemplo a seguir.

A mis hermanos, ustedes son el mejor y mas valioso apoyo que me puedo imaginar.

Carlos M. Suárez Celma

AGRADECIMIENTOS.

A mi tutor y cotutor académico, Ing. Vicente Ignoto e Ing. Juan Carlos Mestre, por haberme dado la orientación y apoyo durante la ejecución de este trabajo.

A mi tutor industrial, Ing. Rafael Rengifo, por su valiosísima ayuda, apoyo, orientación y dedicación desde el comienzo del presente trabajo, por confiar en mis decisiones y por permitir que me desarrollara exitosamente en los diferentes departamentos de la empresa.

A mi profesor y amigo Ing. José Luis Perera, quién me ha prestado el mas sincero apoyo, no solo en la realización de este trabajo sino también en muchos otros proyectos personales y académicos.

A los Ing. Miguel Otaiza, Edgar Gómez y Edgar Arias, quienes confiaron en mi desde la primera oportunidad.

A Petrozuata C.A. por permitirme trabajar en tan prestigiosa empresa.

A todo el personal de los departamentos de Ingeniería General y de Mantenimiento, quienes me prestaron su ayuda en beneficio de las mejoras de la empresa.

A todo el equipo de fabricación y soldadura, especialmente a los señores Gerardo Pernalet, Eliceo Medina, Henry Gutiérrez y Richard García.

A Margarita González y a todos los demás amigos que me han brindado su apoyo y colaboración.

Y por último a mi querida Universidad Central de Venezuela, especialmente a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica, quienes día a día se esfuerzan solo con la intención de formar mas y mejores ingenieros y de realzar cada día mas el nombre de nuestra ya prestigiosa universidad.

INDICE GENERAL.

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	ii
CAPÍTULO I	
I.- FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
I.1.- ACEROS.....	2
I.1.1.- Clasificación de los aceros.	2
I.1.1.1.- Aceros al Carbono.....	3
I.1.1.2.- Aceros Aleados.....	4
I.1.1.3.- Aceros Inoxidables.....	4
I.1.1.4.- Aceros de Baja Aleación.....	5
I.1.2.- Especificaciones del Acero Cr-Mo.....	8
I.1.2.1.- Resistencia a la fluencia en caliente.....	9
I.1.2.2.- Interacción Fatiga-Fluencia en caliente.....	11
I.1.2.3.- Resistencia a la corrosión.....	12
I.1.2.4.- Dureza.....	15
I.2.- SOLDADURA.....	17
I.2.1.- Características de la soldadura para tuberías.....	17
I.2.1.1.- Zonas de la unión soldada.....	18
I.2.1.2.- Diseño de la junta.....	19
I.2.1.3.- Terminología.....	20
I.2.1.4.- Número de pasadas.....	21
I.2.1.5.- Velocidad de soldeo.....	22
I.2.1.6.- Posición de soldeo.....	22
I.2.2.- Procesos de Soldadura.....	23
I.2.2.1.- Soldadura por Arco Manual con Electrodo Revestido (SMAW).....	23
I.2.2.2.- Soldadura por Arco Bajo Gas Protector con Electrodo no Consumible (GTAW).....	27
I.2.3.- Defectos y discontinuidades de soldadura.....	31
I.2.3.1.- Clasificación de los defectos de soldadura.....	32
I.3.- SOLDABILIDAD.....	39
I.3.1.- Soldabilidad de los aceros Cr-Mo.....	39
I.3.2.- Influencia del calor aportado sobre el metal en la soldadura.....	40
I.3.3.- Problemas derivados de la soldabilidad en los Aceros Cr-Mo.....	41
I.3.3.1.- Agrietamiento en frío.....	41
I.3.3.2.- Agrietamiento en caliente.....	42
I.3.4.- Técnicas para mejorar la soldabilidad de los Aceros Cr-Mo.....	43
I.3.4.1.- Polaridad.....	44

I.3.4.2.- Tratamientos Térmicos en soldadura.....	44
I.3.4.3.- Calentamiento y medición de temperatura.....	47
I.4.- CÓDIGO ASME, SECCIÓN IX.....	49
I.4.1.- Especificación del Procedimiento de Soldadura (EPS).....	49
I.4.2.- Registro de Calificación del Procedimiento (RCP).....	50
I.4.3.- Calificación del Desempeño del Soldador (CDS).....	50
I.4.4.- Números P y Números de Grupo.....	50
I.4.5.- Números F.....	51
I.4.6.- Números A.....	51
I.4.7.- Variables de la soldadura.....	51
I.4.8.- Ensayos no destructivos.....	55
I.4.8.1.- Inspección Visual.....	55
I.4.9.- Ensayos destructivos.....	57
I.4.9.1.- Ensayo de dureza Brinell.....	58
I.4.9.2.- Ensayos de tracción.....	58
I.4.9.3.- Ensayos de doblado.....	60

CAPÍTULO II.

II.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	62
II.1.- ELABORACIÓN FORMATOS.....	65
II.1.1.- Formato de la EPS.....	65
II.1.2.- Formato de el RCP.....	68
II.1.3.- Formato de la CDS.....	72
II.2.- ELABORACIÓN DE LA EPS.....	74
II.3.- CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	79
II.3.1.- Análisis químico.....	79
II.3.2.- Preparación del metal base.....	80
II.3.3.- Proceso de soldadura GTAW.....	81
II.3.3.1.- Corriente y Polaridad.....	81
II.3.3.2.- Electrodo de Tungsteno.....	82
II.3.3.3.- Material de Aporte.....	83
II.3.3.4.- Protección Gaseosa.....	83
II.3.3.5.- Temperatura entre pases.....	83
II.3.4.- Proceso de soldadura SMAW.....	84
II.3.4.1.- Corriente y Polaridad.....	84
II.3.4.2.- Material de Aporte.....	84
II.3.4.3.- Temperatura entre pases.....	85
II.3.5.- Tratamiento térmico posterior a la soldadura.....	85
II.3.6.- Extracción y dimensiones de las probetas.....	86
II.4.- APLICACIÓN DE LAS INSPECCIONES Y ENSAYOS.....	89
II.4.1.- Inspección Visual.....	89
II.4.2.- Ensayo de Dureza Brinell.....	90

II.4.3.- Ensayos de Tracción.....	91
II.4.4.- Ensayos de Doblado.....	91

CAPÍTULO III.

III.- RESULTADOS.....	94
III.1.- ANÁLISIS QUÍMICO.....	95
III.1.1.- Materiales base.....	95
III.1.2.- Materiales de aporte.....	95
III.2.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	97
III.2.1.- Inspección Visual.....	97
III.3.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	99
III.3.1.- Ensayo de Dureza Brinell.....	99
III.3.2.- Ensayos de Tracción.....	100
III.3.3.- Ensayos de Doblado.....	104
III.4.- REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (RCP).....	105
III.5.- CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (CDS).....	107
III.6.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	108
III.6.1.- Análisis químico.....	108
III.6.2.- Ensayos no destructivos.....	108
III.6.3.- Ensayos destructivos.....	109
III.6.3.1.- Ensayo de Dureza.....	109
III.6.3.2.- Ensayo de Tracción.....	110
III.6.3.3.- Ensayo de Doblado.....	112
III.6.4.- Equivalencias del procedimiento.....	114

CAPÍTULO IV.

IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
IV.1.- CONCLUSIONES.....	116
IV.2.- RECOMENDACIONES.....	117

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

APÉNDICES.....	120
APÉNDICE 1: Extracto del Código ASME, Sección IX.....	121
APÉNDICE 2: Extracto del Código ASME, Sección B31.3.....	122
APÉNDICE 3: Procedimiento PETROZUATA PI-INS-009 “Identificación Positiva de Materiales”.....	123
APÉNDICE 4: Procedimiento PETROZUATA PI-INS-018 “Ensayo de dureza Brinell en soldaduras de equipos y tuberías”.....	124
APÉNDICE 5: Procedimiento PETROZUATA PI-INS-020 “Alivio térmico de soldadura”.....	125

INDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO I

1.1.- Mineral de Hierro	2
1.2.- Zonas de la soldadura.....	19
1.3.- Diseño de la junta.....	19
1.4.- Flechado indicativo de las uniones soldadas.....	20
1.5.- Soldadura de ranura.....	21
1.6.- Enumeración de las pasadas.....	21
1.7.- Pasadas en soldadura a filete.....	22
1.8.- Pasadas en soldadura a tope.....	22
1.9.- Posiciones de soldeo según la AWS.....	22
1.10.- Proceso de soldadura SMAW.....	23
1.11.- Proceso de soldadura GTAW.....	23
1.12.- Soldadura SMAW.....	24
1.13.- Equipo de soldadura SMAW.....	25
1.14.- Identificación de electrodos para soldadura con SMAW.....	26
1.15.- Soldadura GTAW.....	28
1.16.- Equipo de soldadura GTAW.....	29
1.17.- Identificación de electrodos para soldadura con GTAW.....	30
1.18.- Grietas y fisuras.....	33
1.19.- Cavidades.....	34
1.20.- Inclusiones de escoria.....	35
1.21.- Fusión incompleta.....	36
1.22.- Penetración incompleta.....	36
1.23.- Perfiles inaceptables y socavación.....	37
1.24.- Efectos del arco eléctrico, amperaje y/o velocidad de avance inadecuado.....	38
1.25.- Grietas características del agrietamiento en frío.....	41
1.26.- Grietas características del agrietamiento en caliente.....	43
1.27.- Características del arco eléctrico y depósito de soldadura.....	45
1.28.- Equipo utilizado para la realización del precalentamiento.....	46
1.29.- Curva característica del tratamiento térmico de alivio de tensiones.....	47
1.30.- Galga de medición.....	56
1.31.- Banco de ensayo universal.....	59
1.32.- Máquina de doblado.....	61
1.33.- Probeta de doblado.....	61

CAPÍTULO II

2.1.- Formato de la planilla para EPS.....	67
2.2.- Formato de la planilla para RCP (primera página).....	70
2.3.- Formato de la planilla para RCP (segunda página).....	71
2.4.- Formato de la planilla para CDS.....	73
2.5.- Secuencia de avance de la unión soldada.....	76
2.6.- Planilla de la especificación de procedimiento de Soldadura.....	78
2.7.- Diseño de la junta.....	80
2.8.- Armado de la pieza.....	81
2.9.- Proceso de soldadura GTAW.....	82
2.10.- Punta del electrodo de Tungsteno.....	82
2.11.- Mantenimiento de la temperatura entre pases.....	83
2.12.- Proceso de soldadura SMAW.....	84
2.13.- Etapa de enfriamiento del tratamiento térmico de alivio de tensiones.....	86
2.14.- Zonas de extracción de los cupones.....	87
2.15.- Corte de las tuberías para la extracción de las probetas.....	87
2.16.- Probetas de tracción.....	88
2.17.- Probetas de doblado.....	88
2.18.- Inspección visual entre pases mientras se mantiene adecuadamente la temperatura de la unión.....	90
2.19.- Puntos de medición de la dureza.....	91
2.20.- Máquina de ensayo universal usada para realizar los ensayos de tracción.....	92
2.21.- Máquina de ensayo universal usada para realizar los ensayos de doblado.....	92

CAPÍTULO III

3.1.- Inspección visual de la zona superior.....	97
3.2.- Inspección visual de la zona lateral.....	98
3.3.- Inspección visual de la zona interna.....	98
3.4.- Encuellamiento de la probeta de tracción superior.....	103
3.5.- Encuellamiento de la probeta de tracción inferior.....	103
3.6.- Mecanismo de doblado de las probetas.....	104
3.7.- RCP (primera página).....	105
3.8.- RCP (segunda página).....	106
3.9.- CDS.....	107
3.10.- Probeta de tracción superior.....	111
3.11.- Probeta de tracción inferior.....	111
3.12.- Probeta de doblado de cara superior.....	112
3.13.- Probeta de doblado de cara inferior.....	113
3.14.- Probeta de doblado de raíz superior.....	113
3.15.- Probeta de doblado de raíz inferior.....	114

INDICE DE GRÁFICOS.

CAPÍTULO I

1.1.- Esfuerzo de Fractura vs. Temperatura.....	11
1.2.- Fatiga en los aceros Cr-Mo.....	12
1.3.- Rata de corrosión según la temperatura.....	13
1.4.- Corrosión sulfúrica.....	14
1.5.- Influencia de la temperatura en la dureza.....	16

CAPÍTULO II

2.1.- Curva de tratamiento térmico de alivio de tensiones.....	85
--	----

CAPÍTULO III

3.1.- Perfil de dureza.....	99
3.2.- Gráfico de Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción superior.....	101
3.3.- Gráfico de Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción inferior.....	102

INDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO I

1.1.- Composición de los aceros de baja aleación.....	7
1.2.- Composición química nominal de los aceros Cr-Mo.....	7
1.3.- Propiedades mecánicas de los aceros Cr-Mo.....	8
1.4.- Temperatura límite de uso de los aceros Cr-Mo.....	9
1.5.- Variables de la Especificación de Procedimiento de Soldadura para procesos SMAW.....	53
1.6.- Variables de la Especificación de Procedimiento de Soldadura para procesos GTAW.....	54

CAPÍTULO III

3.1.- Composición química de la tubería.....	95
3.2.- Composición química nominal de los materiales de aporte.....	95
3.3.- Composición química real de los materiales de aporte.....	96
3.4.- Medición de dureza Brinell.....	99
3.5.- Resultados de los ensayos de tracción.....	100
3.6.- Resultados de los ensayos de doblado.....	104

Carlos Manuel Suárez

**CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA
TUBERÍAS DE ACERO AL CROMO-MOLIBDENO (9Cr-1Mo)**

**Tutor Académico: Prof. Ing. Vicente Ignoto. Tesis. Caracas. U.C.V.
Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2002. 125 Pág.**

Calificación de Procedimiento de Soldadura. Soldadura en tuberías

Se calificó un procedimiento de soldadura para tuberías de Acero al 9Cromo-1Molibdeno (ASTM SA335-P9, UNS K90941), tuberías empleadas en el transporte de fluidos a muy alta temperatura. Esta calificación se llevó a cabo utilizando la Sección IX del Código ASME.

El presente trabajo “**CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA TUBERÍAS DE ACERO AL CROMO-MOLIBDENO (9Cr-1Mo)**” se realizó en el Complejo de Mejoramiento de Crudo de Petrozuata, ubicado Condominio Industrial de Jose, estado Anzoátegui. Contando con el apoyo de el Equipo de Inspección de Equipos Estáticos y el Departamento de mantenimiento Mecánico por parte de la empresa y con el apoyo de las escuelas de Mecánica y de Metalurgia por parte de la Universidad Central de Venezuela.

Para la realización de la junta soldada se emplearon dos de los proceso de soldadura mas comunes, el GTAW y el SMAW, utilizando el primero para los pases de raíz y el segundo para los de relleno.

Este procedimiento calificó, asegurando la calidad de las uniones soldadas, por el amparadas, así como la habilidad y cualidad del soldador que la ejecutó. Las propiedades mecánicas resultaron superiores en el cordón de soldadura con respecto a el metal base.

INTRODUCCIÓN.

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

Con la incorporación al mercado de estas nuevas tuberías se crea la necesidad de obtener y divulgar los mejores procedimientos para unirlos entre si.

El presente trabajo de grado tiene como finalidad la calificación de un procedimiento de soldadura para tuberías de acero aleado con Cromo y Molibdeno, específicamente el 9Cr-1Mo. Usado principalmente en el transporte de fluidos corrosivos a muy alta temperatura.

Para la calificación del procedimiento de soldadura se soldó un cupón de prueba siguiendo minuciosamente cada una de las especificaciones dadas en el procedimiento. Primeramente se realizó la preparación del material base: corte, limpieza y dimensionamiento de la junta. Seguidamente se realizó la soldadura controlando principalmente la alineación, los materiales de aporte, el precalentamiento y el tratamiento térmico de alivio de tensiones. En la junta se emplearon dos procesos de soldadura, el GTAW para los dos pases de raíz y el SMAW para los de relleno, soldándola en la posición 6G.

La evaluación del cupón se llevó a cabo mediante la inspección visual y la evaluación del procedimiento de soldadura mediante los ensayos destructivos de dureza, tracción y doblado, todas estas siguiendo los lineamientos y recomendaciones dados por el Código ASME, en su Sección IX.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

I.- FUNDAMENTO TEÓRICO.

I.1.- ACEROS.

El Acero es básicamente una aleación o combinación de Hierro y Carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo), Mo (Molibdeno) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

Ya que el acero es básicamente Hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

El Hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el Oxígeno del aire para formar óxido de hierro - herrumbre. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y materiales térreos.



Figura 1.1.- MINERAL DE HIERRO

I.1.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.

Los diferentes tipos de acero se clasifican de acuerdo a los elementos de aleación que producen distintos efectos sobre las propiedades mecánicas del Acero :

1.1.1.1.- Aceros al Carbono⁽¹⁾:

Más del 90% de todos los aceros son Aceros al Carbono, siendo los aceros mas utilizados en la construcción de envases a presión debido a sus propiedades mecánicas, bajo costo y facilidad de fabricación. Los aceros son considerados como Aceros al Carbono cuando contienen un mínimo de las especificaciones o requerimientos de Cromo, Cobalto, Columbio, Niobio, Molibdeno, Níquel , Titanio, Tungsteno, Vanadio, Circonio o cualquier otro elemento que se agregue para obtener los efectos aleantes deseados; cuando el contenido mínimo específico de cobre no excede de 0.40%; o cuando el contenido máximo específico de cualquiera de los siguientes elementos no excede de los siguientes porcentajes: Manganeso 1.65%, Silicón 0.60%, Cobre 0.60%.

Los Aceros al Carbono se clasifican de acuerdo a sus prácticas de desoxidación como Rimmed, Capped, Semi-Killed o Killed Steel. Las prácticas de desoxidación y el proceso de fabricación producen diferentes efectos sobre las propiedades mecánicas de los Aceros al Carbono, sin embargo, variaciones del porcentaje de carbono produce efectos mucho mayores sobre las propiedades mecánicas, con el incremento del porcentaje de carbono se incrementa la dureza y resistencia del acero. Los aceros al carbono son generalmente clasificados de acuerdo al contenido de carbono. Generalmente estos aceros contienen hasta un 2% de elementos aleantes y se pueden subdividir en aceros de bajo carbono, aceros de medio carbono, aceros de alto carbono y aceros de muy alto carbono.

Aceros de Bajo Carbono. Contiene hasta un 0.30% de carbono y hasta 0.40% de manganeso. Los aceros de esta clasificación presentan muy buena ductilidad y son usados principalmente para partes de automóviles, planchas y alambres.

Aceros de Medio Carbono. Contienen desde 0.30 hasta 0.60% de Carbono y desde 0.60 hasta 1.65% de manganeso. Estos aceros son utilizados principalmente para ejes, árboles, engranajes, cigüeñales, acopladores, forjas, vías de trenes y ruedas.

Aceros de Alto Carbono. Contienen desde 0.60 hasta 1.00% de Carbono y desde 0.30 hasta 0.90% de Manganeso. Los aceros con estas propiedades son utilizados principalmente para materiales de resorte y alambres de alta resistencia.

Aceros de Muy Alto Carbono. Estos aceros están actualmente en experimentación y contienen entre 1.25 y 2% de Carbono. Estos son procesados termomecánicamente para producir granos esféricos ultra finos.

I.1.1.2.- Aceros Aleados⁽²⁾:

Estos aceros contienen una proporción determinada de Vanadio, Molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de Manganeso, Silicio y Cobre que los Aceros al Carbono normales. Estos aceros de aleación se pueden subclasificar en :

Estructurales.

Son aquellos aceros que se emplean para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además se utilizan en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25% a un 6%.

Para Herramientas.

Aceros de alta calidad que se emplean en herramientas para cortar y modelar metales y no-metales. Por lo tanto, son materiales empleados para cortar y construir herramientas tales como taladros, escariadores, fresas, terrajas y machos de roscar.

Especiales.

Los aceros de aleación especiales son los aceros inoxidable y aquellos con un contenido de Cromo generalmente superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión, se emplean en turbinas de vapor, engranajes, ejes y rodamientos.

I.1.1.3.- Aceros Inoxidables⁽²⁾:

Los aceros inoxidables contienen Cromo, Níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos

los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

1.1.1.4.- Aceros de Baja Aleación:

Esta familia es la más reciente de las cuatro grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del Acero al Carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.

Los aceros de baja aleación presentan una clasificación acorde con su composición química, especialmente por su cantidad de Carbono y de sus aleantes. Las primeras clasificaciones dividen a estos aceros en aceros de baja aleación, aceros de alta dureza y baja aleación y aceros microaleados. Actualmente se ha modificado esta clasificación y se han separado en cuatro grupos bien característicos, estos son:

- Aceros de Baja Aleación y Alta Resistencia.
- Aceros de Baja Aleación Tratados Térmicamente.
- Aceros Procesados con Control Termo-Mecánico.
- Aceros al Cromo-Molibdeno.

Aceros de Baja Aleación y Alta Resistencia⁽³⁾.

También conocido como HSLA por sus siglas en inglés “High-Strength Low Alloy Steels” o Aceros Microaleados. Estos aceros presentan unas propiedades mecánicas muy superiores a la de los Aceros al Carbono, principalmente en lo respectivo a resistencia a la corrosión por factores ambientales.

Los HSLA presentan una resistencia entre 290 y 550 Mpa (42 y 80 ksi); contienen bajo porcentaje de Carbono, entre 0.05 y .025%, con la intención de obtener buena forjabilidad y soldabilidad, y un contenido de Manganeso superior a 2.0%. Igualmente presentan cantidades muy pequeñas de otros aleantes como Cromo, Níquel, Molibdeno, Cobre, Nitrógeno, Vanadio, Niobio, Titanio y Circonio, usados

en diferentes combinaciones. Dependiendo de estos aleantes y de su proceso de fabricación se clasifican en⁽¹⁾:

- *Aceros contra efectos atmosféricos*: Designa los aceros con elevada resistencia a la corrosión atmosférica.
- *Aceros Rolados*: Acero rolado en caliente según una medida específica, diseñado para desarrollar de una estructura altamente deformada del austenítico a una estructura ferrítica muy fina.
- *Aceros Perlíticos Reducidos*: Aceros conformados por una estructura ferrítica de grano muy fino y precipitaciones duras pero con bajo contenido de carbono y por lo tanto muy poca o ninguna estructura perlítica.
- *Aceros Microaleados*: Aceros con adición de muy pocos elementos aleantes, tales como Niobio, Vanadio y/o Titanio para refinar el tamaño de los granos y/o precipitaciones duras.
- *Aceros Ferríticos Aciculares*: Aceros con muy bajo contenido de Carbono con suficiente resistencia a la transformación en frío y una estructura ferrítica acicular con alta resistencia, algo usual en las estructuras ferríticas poligonales.
- *Aceros Dúplex*: Aceros procesados de una microestructura ferrítica conteniendo poca uniformidad con algunas regiones de alto contenido de Carbono y microestructura martensítica, resultando en un producto con bajos esfuerzos residuales y una alta tasa de dureza, proporcionando un acero de alta resistencia y ductilidad.

Aceros de Baja Aleación Tratados Térmicamente⁽³⁾.

También conocidos como HTLA por sus siglas en inglés “Heat-Treatable Low-Alloy”. Usualmente son aceros austeníticos. Son relativamente endurecibles cuando se encuentran en las fases de templeado y revenido y presentan una resistencia cercana a los 965 MPa (140 ksi). El metal de la soldadura no puede desarrollar generalmente combinaciones aceptables de la fuerza y de la dureza en estos niveles en el cordón de la soldadura o la zona afectada por el calor. Por lo tanto es necesario regresarlo a la fase de austenización después de haberlo soldado.

Aceros Procesados con Control Termo-Mecánico⁽³⁾.

Estos aceros son generalmente producidos con una combinación de pasos seguidos de un enfriamiento acelerado enfriados a revenirlo. Este proceso de fabricación logra una combinación de alta dureza y esfuerzos manteniendo una buena soldabilidad. Esta soldabilidad es buena ya que este acero contiene sobre 0.06% de Carbono. Los esfuerzos que logra soportar están en el orden de 700 MPa (100ksi).

Aceros al Cromo-Molibdeno⁽³⁾.

Son aceros altamente usados en servicios a alta temperatura, especialmente en plantas de energía o industrias petroquímicas. El Cromo que contienen estos aceros varía entre 0.5 y 9% y el Molibdeno entre 0.5 y 1%. Usualmente se fabrica templado y revenido o templado y normalizado.

Debido a que este material presenta una alta dureza, suele presentar problemas con el Hidrógeno y provocar agrietamiento en frío. Las aplicaciones de servicio frecuentemente imponen requerimientos adicionales a las juntas soldadas de este tipo de aceros. Por ejemplo, estos materiales son requeridos en muchos servicios por su alta resistencia a la fluencia en caliente (creep), por lo que tanto el cordón de soldadura como la zona afectada por el calor deben proporcionar propiedades semejantes ante la fluencia en caliente.

Composición de los Aceros de Baja Aleación

Designación del Acero.	Composición (%)									
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb
Aceros de Baja Aleación y Alta Dureza	0.10-0.25	0.50-1.5	<0.04	<0.05	0.20-0.35	0-0.75	0-0.75	0-0.25	0-0.05	0-0.04
Aceros de Baja Aleación Tratados Térmicamente	0.30-0.50	0.50-1.0	<0.04	<0.05	0.15-0.30	0-3.0	0.50-1.0	0.15-0.25
Aceros Procesados con Control Termo-Mecánico.	0.04-0.15	0.70-1.5	<0.03	<0.03	0.20-0.35	...	0-0.25	0-0.05	0-0.05	0-0.03
Aceros al Cromo-Molibdeno.	0.10-0.20	0.50-0.70	<0.035	<0.04	0.15-0.50	...	0.50-9.0	0.5-1.0

Tabla 1.1

Composición Química Nominal de los Aceros Cr-Mo

Tipo	Designación UNS	Composición Química						
		C	Mn	S	P	Si	Cr	Mo
1/2Cr-1/2Mo	K12122	0.10-0.20	0.30-.80	0.040	0.040	0.10-0.60	0.50-0.80	0.45-0.65
1Cr-1/2Mo	K11562	0.15	0.30-0.60	0.045	0.045	0.50	0.80-1.25	0.45-0.65
1.1/4Cr-1/2Mo	K11597	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50-1.00	1.00-1.50	0.45-0.65
1.1/4Cr-1/2Mo	K11592	0.10-0.20	0.30-.80	0.040	0.040	0.50	1.00-1.50	0.45-0.65
2.1/4Cr-1Mo	K21590	0.15	0.30-0.60	0.040	0.040	0.50	2.00-2.50	0.87-1.13
3Cr-1Mo	K31545	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50	2.65-3.35	0.80-1.06
5Cr-1/2Mo	K41545	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50-1.00	4.00-6.00	0.45-0.65
7Cr-1/2Mo	K61595	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50-1.00	6.00-8.00	0.45-0.65
9Cr-1Mo	K90941	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50-1.00	8.00-10.00	0.90-1.10

Tabla 1.2

I.1.2.- ESPECIFICACIONES DEL ACERO Cr-Mo⁽⁴⁾.

Pequeñas cantidades de Cromo ($\approx 0.5\%$) ayuda a la formación de carburos estables, en cantidades más grandes ($\approx 9\%$) incrementa sustancialmente la resistencia del acero frente a la corrosión; igualmente influencia a la dureza, incrementándola. Los efectos de este aleante en los aceros ferríticos en sumamente compleja. Por si solo, el Cromo incrementa la resistencia a la fluencia en caliente, aunque incremento de este aleante en aceros de bajo Carbono, no incrementa su resistencia a la deformación a elevadas temperaturas. Cuando se le añade, adicionalmente, Molibdeno el cromo conduce a una cierta reducción de la resistencia a la fluencia en caliente.

El Molibdeno, por su parte, es el elemento esencial en aceros aleados que presten servicios a temperaturas sobre los 450°C (840°F), dado que produce un drástico aumento a la resistencia a la deformación en caliente con un pequeño porcentaje de aleante (de 0.1 a 1%). El problema es que cuando se le añaden altas cantidades, los aceros pierden ductilidad, factor que se contrarresta con la adición de cromo. Otro beneficio que presta este aleante es la formación de carburos y la resistencia a la grafitación.

En la Tabla 1.3 se listan las principales propiedades mecánicas de los aceros de baja aleación, especialmente los aceros aleados con cantidades de Molibdeno de 0.5 ó 1 % y cantidades de Cromo superiores de 0.5 y no mayores de 10 %.

Propiedades Mecánicas de los aceros Cr-Mo

Tipo	Resistencia mínima a la tracción		Elongación mínima en 50mm (2"). %	Reducción de área mínima. %
	Mpa	ksi		
1Cr-1/2Mo	415	60	30(a); 20(b)	...
1.1/4Cr-1/2Mo	415	60	20	35
2.1/4Cr-1Mo	415	60	18(c); 45	40
5Cr-1/2Mo	415	60	18(c); 22	45
9Cr-1Mo	415	60	18	35

(a): Longitudinal. (b): Transversal. (c): Elongación en 200mm (8")

Tabla 1.3

1.1.2.1.-Resistencia a la Fluencia en Caliente.

Como se mencionó anteriormente, este acero tiene la gran ventaja de su alta resistencia a la fluencia en caliente (Creep), debido al Molibdeno con que cuenta y su alta resistencia a la corrosión por el Cromo. La resistencia a la fluencia en caliente es derivada de dos factores: consolidación de la fase sólida como microestructura ferrítica y el endurecimiento por los carburos precipitados. La resistencia a la fluencia en caliente es general en esta familia de aceros, mas no es constante en todos, depende de la cantidad de Cromo y de Molibdeno que posea este acero.

La aplicación actual más común para este tipo de acero es en envases a presión y tuberías, encontrándose en condiciones de templado y normalizado. Como resultado de la alta tasa de enfriamiento empleado en estos tratamientos, la microestructura de estos aceros varia entre agregados de ferrita-perlita y agregados de ferrita-bainita. La microestructura bainítica es la mejor para prevenir la fluencia en caliente en condiciones de altos esfuerzos en corto tiempo, pero se degrada mucho más rápido, a las altas temperaturas, que un acero de igual composición química pero con microestructura perlítica. Como resultado, el mejor material se obtiene con un termino medio, o sea, una microestructura de ferrita-perlita, dotando al material de buenas propiedades ante los esfuerzos y la fluencia en caliente.

Actualmente existe una expectativa muy importante sobre los equipos en funcionamiento construidos con este tipo de acero, esto es debido a que tanto la microestructura ferrítica como la perlítica son eventualmente esféricas, y después de un tiempo en funcionamiento, las dos microestructuras pueden converger a una similar y producirse fractura por fluencia en caliente.

En la Tabla 1.4 se presentan las máxima temperaturas que logran resistir algunos de los aceros Cr-Mo mas comúnmente usados en las industrias de energía.

Temperatura Limite de Uso en los Aceros Cr-Mo		
Material	Temperatura máxima	
	°C	°F
1/2Cr-1/2Mo	550	1020
1Cr-1/2Mo	560	1035
1.1/4Cr-1/2Mo	565	1050
2.1/4Cr-1Mo	580	1075
9Cr-1Mo	650	1200

Tabla 1.4

Entre las características más relevantes de esta familia de aceros encontramos:

Aceros 1Cr-1/2Mo.

Estos aceros son empleados principalmente en sistemas de tuberías y tubos de calderas que trabajen a temperaturas comprendidas entre 510 y 560°C (950 y 1035 °F). Es similar al acero 1.1/4Cr-1/2Mo que es usado hasta 565°C (1050°F) y en estructura y resistencia a la fluencia en caliente se compara con el 1Cr-1/2Mo.

Aceros 2.1/4Cr-1Mo.

Este acero es mucho más resistente a la corrosión y a la fluencia en caliente que los mencionados anteriormente. Se caracteriza por ser altamente resistente en servicios que la temperatura sea inferior a 650°C (1200°F) o cuando presentan de gran cantidad de Hidrógeno a temperatura inferior a 480°C (900°F).

Aceros 5, 7 y 9Cr-1Mo.

Estos aceros presentan menor resistencia a la fluencia en caliente que los aceros de menor cantidad de Cromo ya que la resistencia a los esfuerzos a temperaturas elevadas cae típicamente con un aumento en Cromo. Como sea, este no siempre es el caso, depende de la temperatura de servicio y el grado de exposición del acero, además de si se le realizó tratamiento térmico o no a las uniones soldadas. La principal ventaja que prestan este grupo de aceros es la altísima resistencia a la corrosión y especialmente a la oxidación a altas temperaturas.

Esta Gráfico 1.1 nos muestra el esfuerzo promedio que logran soportar estos aceros antes de fracturarse, como se observa la temperatura es una variable crítica, ya que reduce sustancialmente los niveles de esfuerzo tensión aguantables.

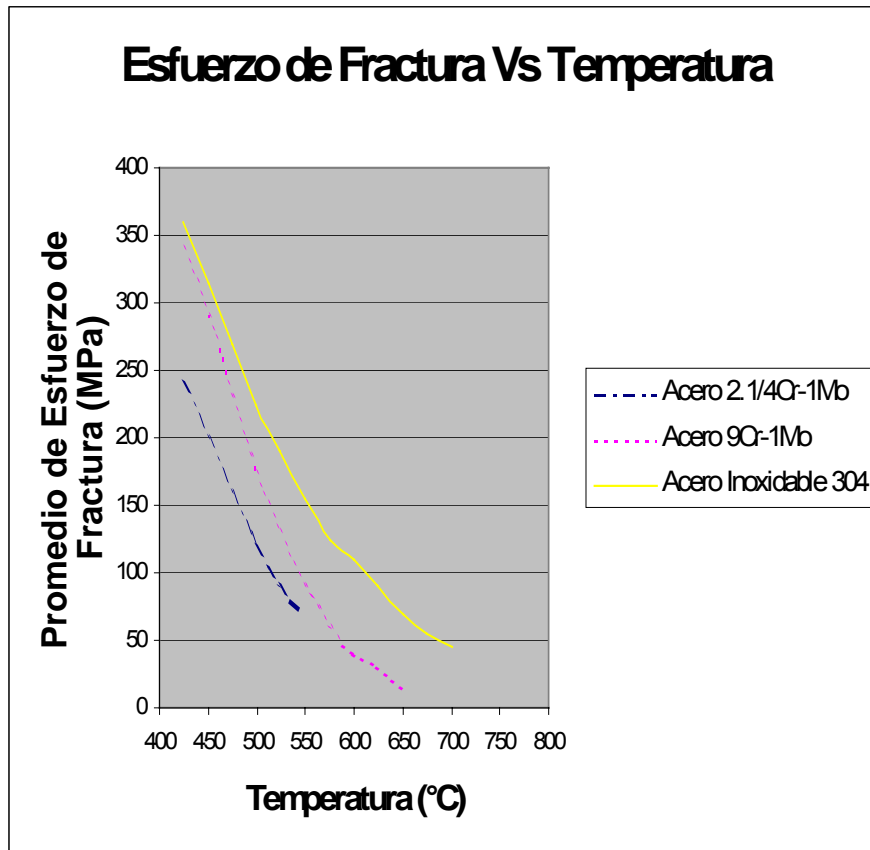


Gráfico 1.1

1.1.2.2.-Interacción Fatiga-Fluencia en Caliente.

Las temperaturas elevadas, reducen sustancialmente la vida útil de estos aceros, dado que afecta su resistencia a la fatiga y a la fluencia en caliente. Esto se atribuye a factores como las formaciones intergranulares, interacción con el ambiente, esfuerzos residuales, posible inestabilidad microestructural o esfuerzos debidos a ciclos térmicos o procesos de fabricación.

El Gráfico 1.2 nos muestra el gran decremento en la resistencia a deformaciones cuando estos aceros son sometidos a ciclos de fatiga.

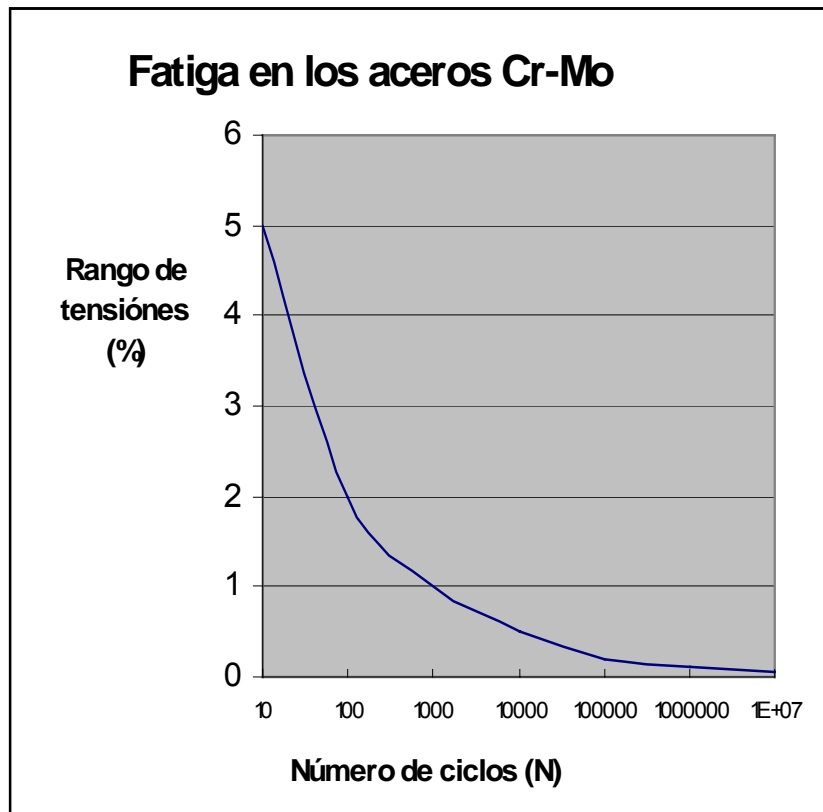


Gráfico 1.2

1.1.2.3.-Resistencia a la Corrosión

Algunas propiedades mecánicas establecen los niveles aceptables de corrosión a temperaturas elevadas, estas dependen principalmente de los contenidos de aleantes del acero.

El gráfico 1.3 caracteriza la resistencia a la corrosión de algunos de los aceros Cr-Mo y la compara con el acero al Carbono. Como se puede ver, la cantidad de Cromo en el acero es el elemento crítico en esta propiedad. Aceros con bajo porcentaje de este aleante sufren gran pérdida de material cuando son expuestos a altas temperaturas, mientras que los de mayor Carbono, finalizados por el 9Cr-1Mo presentan una tasa de pérdida de material casi constante al aumentar la temperatura, aparte de ser prácticamente insignificante en comparación con los demás.

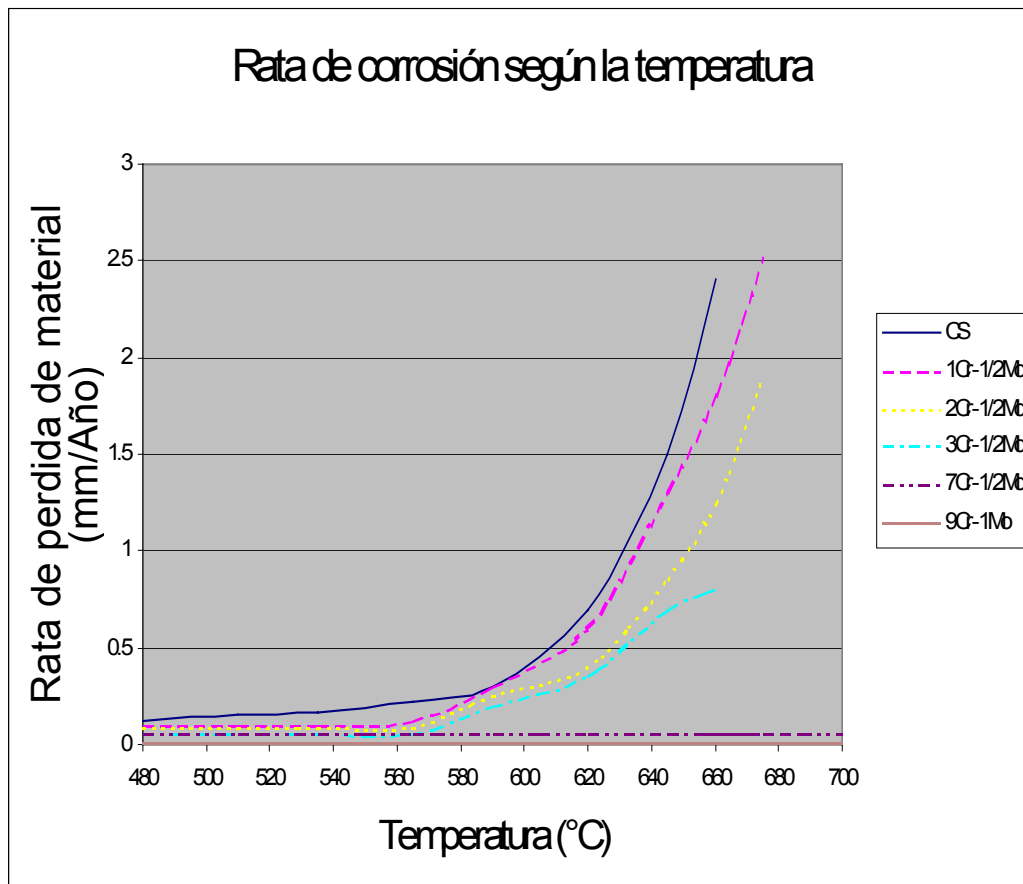


Gráfico 1.3

A continuación se describen las tres formas más características de corrosión en este tipo de aceros de baja aleación.

Oxidación.

La oxidación mediante vapor o aire es un serio problema cuando se trabaja a altas temperaturas. Cuando el metal es expuesto a un gas oxidante a altas temperaturas ocurre una severa corrosión en la dirección que lleve este fluido. Los aleantes intentan que los aceros expuestos a altas temperaturas sean capaces de soportar la oxidación. El Cromo por ejemplo provee de una alta resistencia a la corrosión. Elementos como el Azufre, Vanadio y Sodio cambian las propiedades naturales del metal permitiendo una severa oxidación en los aceros que los contengan.

Corrosión por sulfuros.

La corrosión por componentes sulfurosos (H_2SO_4 y H_2S principalmente) ataca a aceros que trabajen a temperatura entre 260 y 540°C (500 y 1000°F). Ocurre cuando una solución acuosa en la superficie del metal, que incluye la presencia del H_2S , posibilita una forma de introducir Hidrógeno en el metal. Este es un problema muy común en las industrias petroleras y petroquímicas. Aleaciones de Cromo y Aluminio permite que se formen oxido superficiales evitando así que el Azufre molecular penetre en el acero y produzca daños mayores.

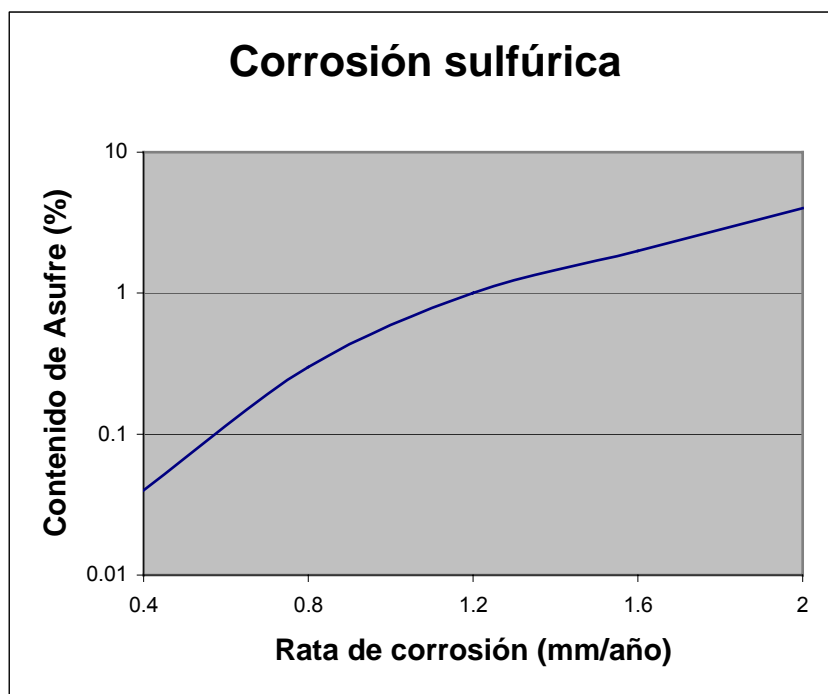


Gráfico 1.4

El Gráfico 1.4 muestra los efectos corrosivos del Azufre en aceros Cromo-Molibdeno. Los aceros con un porcentaje mayor de 12% de Cromo (aceros inoxidables) se considera que no ocurre este tipo de corrosión.

La corrosión bajo tensión en medio sulfhídrico, considerada un caso de la fragilización por Hidrógeno, se evita en los aceros 9Cr-1Mo controlando la dureza, en otras palabras no permitiendo durezas mayores de 241BHN (Dureza Brinell), ni en el cordón de soldadura ni en la zona afectada por el calor.

Corrosión por ataque de Hidrógeno.

Este daño mecánico está asociado a Aceros al Carbono y de baja aleación expuestos a altas concentraciones de Hidrógeno y temperaturas mayores de 220°C (430° F). Cuando el Hidrógeno se encuentra a altas temperaturas y a altas presiones, este penetra en las microestructuras de los aceros.

Los aceros aleados con Cromo y Molibdeno son menos susceptibles a este tipo de ataques que los Aceros al Carbono. Este tipo de corrosión no afecta a los aceros inoxidable austeníticos.

1.1.2.4.-Dureza.

Si las características mecánicas de aceros templados necesitan ser mantenidas en las temperaturas elevadas, el problema es reducir la cantidad ablandamiento a altas temperaturas. Una forma a reducir este ablandamiento, está con la formación de fuertes carburos como los de Cromo, Molibdeno y/o Vanadio. Estas formaciones de carburos inducen un efecto conocido como endurecimiento secundario. Sin estos elementos, las aleaciones de Hierro-Carbono y los aceros con poco Carbono ablandan rápidamente con el aumento de la temperatura. Esto se observa claramente en el gráfico 1.5.

Este ablandamiento es en gran parte debido a la pérdida rápida de la cementita con el aumento de temperatura, dependiente del proceso de difusión del carbón en el hierro.

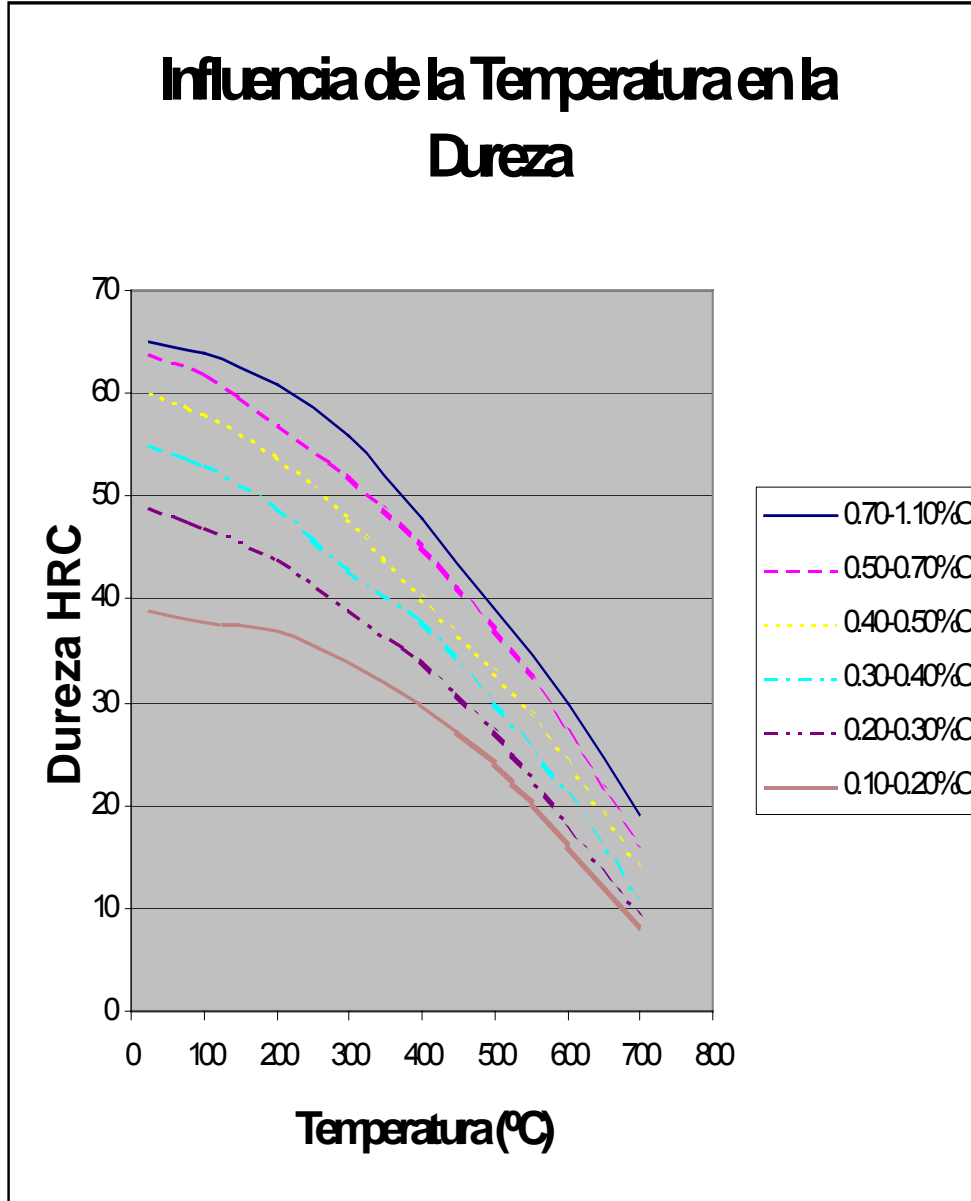


Gráfico 1.5

I.2.- SOLDADURA.

Soldadura es el proceso de unir o juntar metales, ya sea que se calientan las piezas de metal hasta que se fundan y se unan entre sí o que se calienten a una temperatura inferior a su punto de fusión y se unan o ligen con un metal fundido como relleno. Otro método es calentarlas hasta que se ablanden lo suficiente para poder unir las con un martillo a presión⁽⁵⁾.

Es difícil obtener una relación exacta del perfeccionamiento de la soldadura y de las personas que participaron, porque se estaban efectuando muchos experimentos y técnicas de soldadura en diferentes países y al mismo tiempo. Quienes experimentaban en un país también tenían dificultades, en comunicarse con los de otros países. Aunque el trabajo con los metales y la unión de los mismos datan de hace siglos, tal parece que la soldadura, tal como la conocemos en la actualidad, hizo su aportación alrededor del año 1900. Sin embargo, es interesante tener en cuenta que hubo gran cantidad de personas de diferentes nacionalidades relacionadas en alguna forma con el desarrollo y perfeccionamiento de los procesos de soldadura.

El método más antiguo para unir o soldar metales se basaba en calentar dos piezas de metal en una fragua hasta que estaban blandas y flexibles. Después se martillaban o forjaban las piezas entre sí en un yunque y se dejaban enfriar y endurecer.

La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado con tal rapidez en los últimos años, que sería casi imposible enumerar todas los métodos diferentes de soldadura que actualmente están en uso. Sin embargo, se pueden agrupar todos en dos categorías diferentes: soldadura por fusión y soldadura sin fusión.

I.2.1.- CARACTERÍSTICA DE LA SOLDADURA PARA TUBERÍAS.

La soldadura para tuberías presenta características únicas, ya sea a tope o a filete, su forma cilíndrica y, por lo general, el difícil acceso a su interior, ha generado una familia de tipos de uniones de alta calidad para condiciones extremas.

Entre las características más importantes para soldaduras en tuberías encontramos:

- Zonas de la unión soldada.
- Diseño de la junta.

- Terminología.
- Número de pasadas.
- Velocidad de soldeo.
- Posiciones de soldeo.

A continuación una breve explicación de las características anteriormente mencionadas.

1.2.1.1.- Zonas de la Unión Soldada⁽⁶⁾.

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

Cordón de soldadura:

Es la región que ha sido fundida durante el proceso de soldadura y su composición química depende de la composición del metal base y del metal de aporte (en caso de que lleve), así como de la relación que exista entre la cantidad de metal base fundida, y la cantidad de material de aporte entregada durante la soldadura. Adicionalmente, elementos presentes en el área de la soldadura pueden afectar la composición del depósito si estos entran en contacto con el metal fundido.

Zona Afectada por el Calor:

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

Metal Base:

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

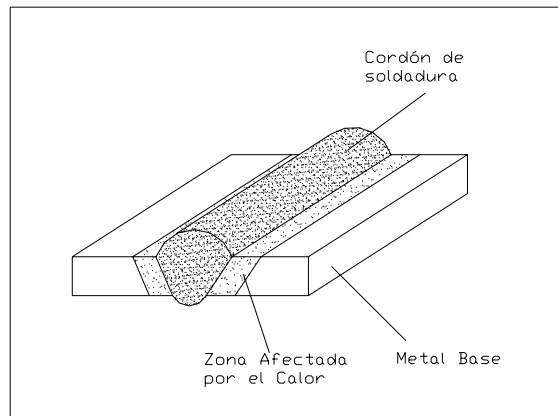


Figura 1.2.- ZONAS DE LA SOLDADURA

1.2.1.2.- Diseño de la Junta.

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

El proceso de soldeo, tipo de material, geometría de las piezas y particularmente el espesor, son los principales factores a tener en cuenta para el diseño de la junta.

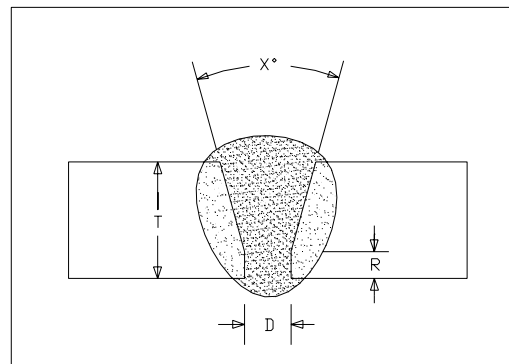


Figura 1.3.- DISEÑO DE LA JUNTA

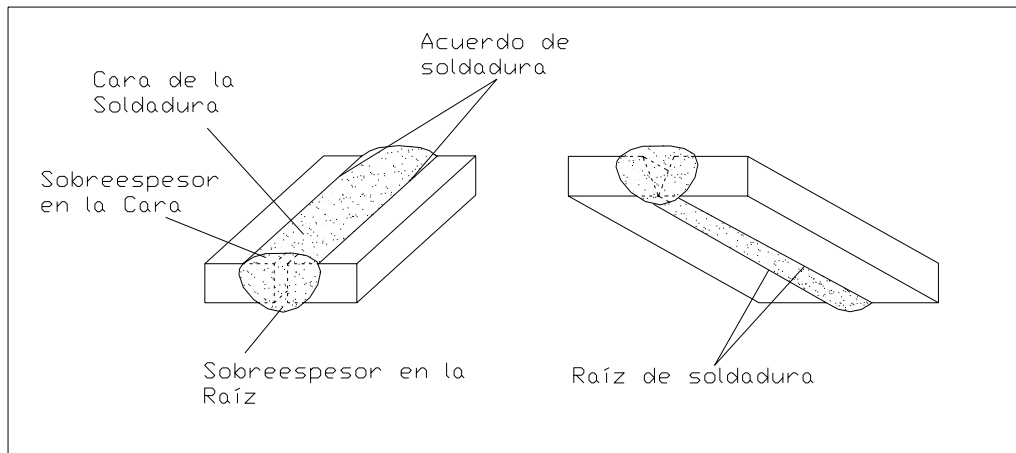


Figura 1.5.- SOLDADURA DE RANURA

1.2.1.4.- Número de Pasadas.

El número de pasadas es el número de veces que se ha tenido que recorrer longitudinalmente la unión hasta completarla. Como resultado de cada pasada se obtiene un cordón de soldadura.

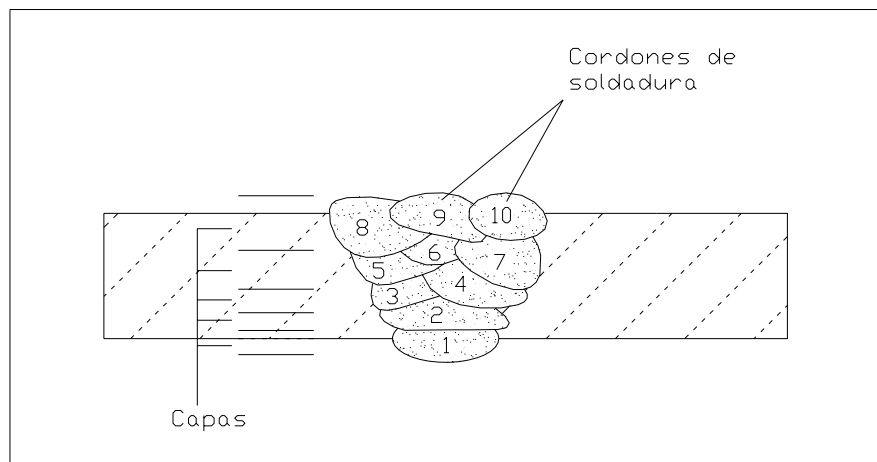


Figura 1.6.- ENUMERACIÓN DE LAS PASADAS

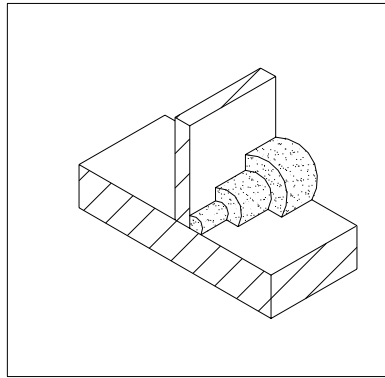


Figura 1.7.- PASADAS EN SOLDADURA
A FILETE

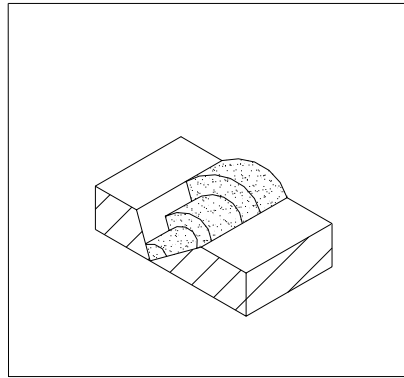


Figura 1.8.- PASADAS EN SOLDADURA
A TOPE

1.2.1.5.- Velocidad de soldeo.

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

1.2.1.6.- Posición de soldeo.

En la Figura 1.9 se muestran las diferentes posiciones de soldadura en ranura para tubos y tuberías, según las especificaciones de la AWS.

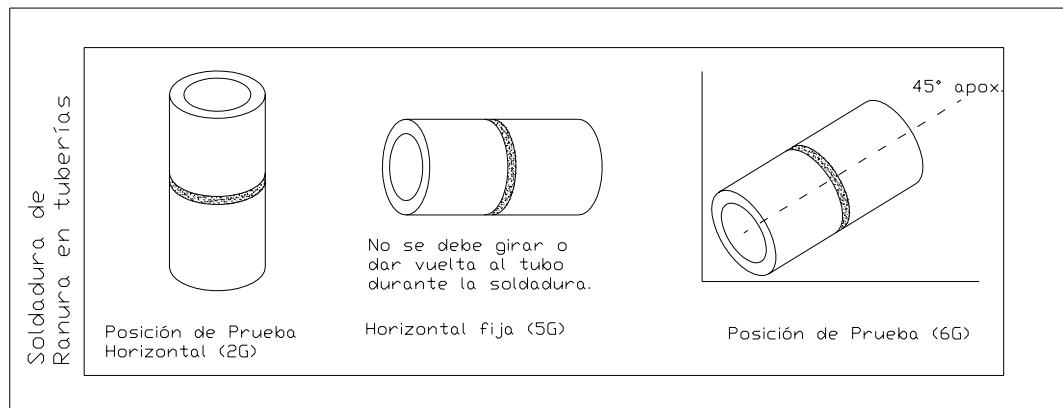


Figura 1.9.- POSICIONES DE SOLDEO SEGÚN LA AWS.

I.2.2.- PROCESOS DE SOLDADURA.

Los dos procesos principales en la soldadura por fusión, son la soldadura de arco y la soldadura con llama. En los procesos de soldadura de arco se emplea el calor creado por una corriente eléctrica para elevar la temperatura de los metales a la requerida para soldarlos.

En la soldadura de arco metálico se establece una corriente eléctrica entre los metales y una varilla que sirve como electrodo. Este electrodo se sujeta en un soporte especial que el soldador sostiene en la mano. El calor requerido para fundir los metales proviene del arco que se crea cuando la corriente eléctrica salta en el espacio o entre hierro entre el extremo del electrodo y el metal. En este proceso, se funden ambos: los metales y el electrodo.

En los procesos de soldadura con llama se utiliza el calor de gases en combustión para fundir los metales. La soldadura con llama se suele hacer con llama de oxiacetileno, aunque algunas veces se emplea otras mezclas de gas combustible y oxígeno.



Figura 1.10.- PROCESO DE SOLDADURA SMAW



Figura 1.11.- PROCESO DE SOLDADURA GTAW

I.2.2.1.- Soldadura por Arco Manual con Electrodo Revestido (SMAW).

Principios de Operación:

El proceso, mejor conocido como Shielded Metal Arc Welding “SMAW”, emplea el paso de un arco eléctrico a través de un electrodo metálico y el material a soldar. Este arco eléctrico produce el calor necesario para fundir el material base y al aporte originándose la mezcla de ambos en estado líquido que al solidificarse formarán el cordón de soldadura. Todos los metales al calentarse son más fáciles que se oxiden, por lo cual a este electrodo se le coloca un revestimiento químico el cual dará propiedades específicas a la soldadura y formará una nube protectora contra el medio

ambiente. Al solidificarse el fundente este protegerá al metal sólido de enfriamientos bruscos, así como contaminaciones por absorción de gases.

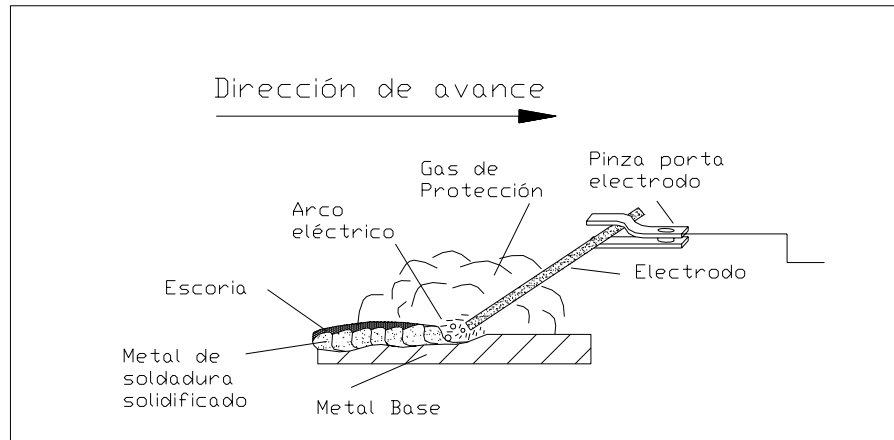


Figura 1.12.- SOLDADURA SMAW.

Equipo:

El circuito de soldadura para este proceso consiste de: Máquina de soldar, cables, pinza porta electrodo, electrodo y la o las pieza(s) de trabajo; tal como se ilustra en la Figura 1.13.

La máquina de soldar debe suministrar la potencia eléctrica requerida, con una intensidad de corriente y voltaje suficiente para mantener el arco. La corriente de soldadura en este proceso puede ser: Alterna (AC) Directa con Electrodo Positivo (DCEP) o Directa con Electrodo Negativo (DCEN). El tipo de corriente depende del electrodo utilizado.

Características del Proceso:

- Proceso simple y versátil.
- Equipo de fácil transportación.
- Es aplicable a la soldadura de casi todos los materiales metálicos.
- Pueden soldarse diversos tipos de uniones y en varias posiciones, siempre y cuando se utilicen los electrodos adecuados.
- Tiene buen rendimiento en la soldadura debido a su alta tasa de deposición.

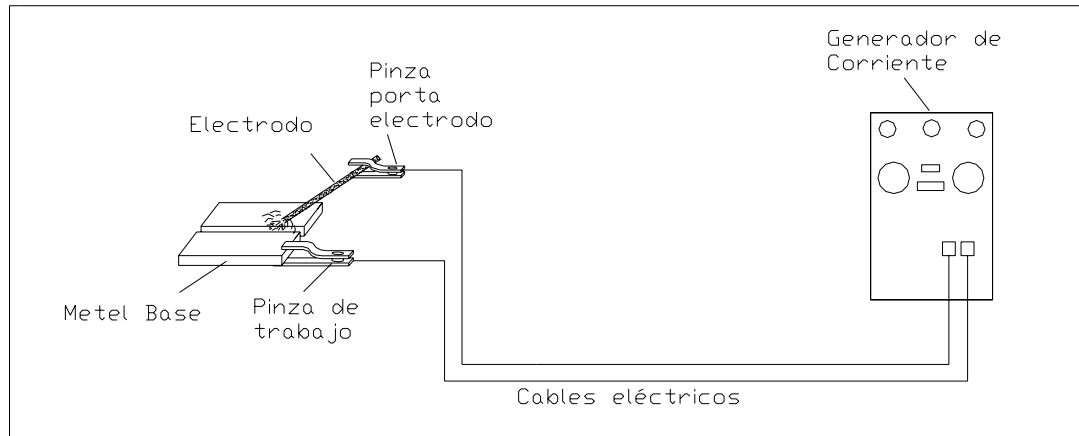


Figura 1.13.- EQUIPO DE SOLDADURA SMAW.

Electrodos:

Un electrodo es un conductor el cual uno de sus extremos cambia a medio de transmisión. Cuando a un conductor se le aumenta el paso de corriente, se calienta y se funde, al fundirse se desprenden pequeñas gotas que una vez lejos del conductor se solidifican. Si estas gotas las depositamos en otro metal se unirán a este formando una soldadura. En la soldadura casi siempre el material del electrodo es del mismo tipo que del metal base.

La selección del electrodo mas apropiado para una determinada aplicación se basa en sus características de operación, en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del depósito de soldadura.

Entre las funciones que cumple el revestimiento del electrodo están:

- Formar una atmósfera protectora alrededor del metal fundido.
- Suministrar elementos desoxidantes, desnitrurizantes, desfosforizantes y desulfurizantes.
- Formar una escoria que proteja al metal fundido de la atmósfera.
- Facilitar el encendido y mantenimiento del arco.
- Suministra elementos de aleación.
- Reducir la velocidad de enfriamiento del cordón.
- Reducir el número de inclusiones en la soldadura

Para asegurar cierto grado de uniformidad en la manufactura de electrodos, la “American Welding Society (AWS)” ha desarrollado una serie de especificaciones que indican los requerimientos que deben cumplir los electrodos de acuerdo al tipo de material. Algunas de estas especificaciones son⁽⁷⁾:

- AWS A5.1 - Electrodos de Aceros al Carbono.
- AWS A5.5 - Electrodos de Aceros de Baja Aleación.

El sistema de identificación de los electrodos revestidos depende de la especificación utilizada. Los electrodos de Baja Aleación se identifican comúnmente de acuerdo a lo indicado en la Figura 1.14. Los electrodos de otras aleaciones generalmente se identifican de acuerdo a su composición química. Algunos electrodos de aplicación común son los siguientes: E6010, E6013, E7018, E8018-C3, E8018-B2, E308L, E316L, etc.

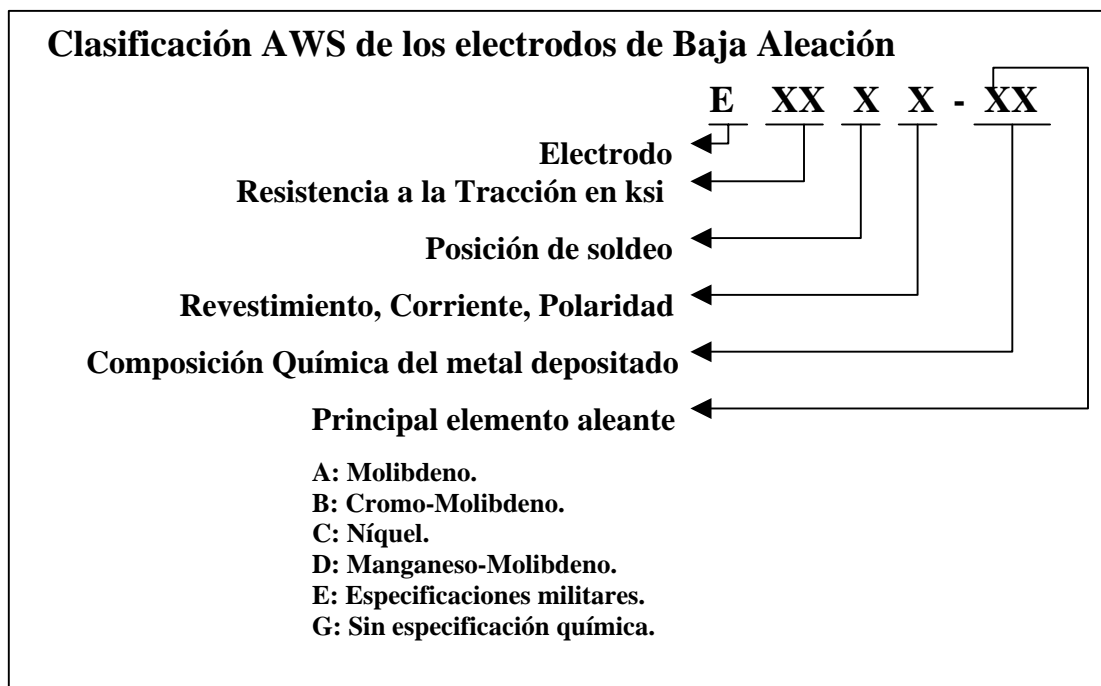


Figura 1.14.- IDENTIFICACIÓN DE ELECTRODOS PARA SOLDAR CON SMAW

Aplicaciones:

El proceso de soldadura con electrodos revestidos es el proceso que cuenta con mayor popularidad en la industria. Este proceso se utiliza por su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra en la soldadura de

materiales de espesor superior a 1,5 mm. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderería, etc.

La calidad de la soldadura depende del diseño de la junta, tipo de electrodo, técnica y habilidad del soldador.

Precauciones Especiales:

Un aspecto importante de controlar y que tiene bastante influencia en la calidad de la soldadura es el almacenamiento y manejo de los electrodos. Esto es mas crítico en el caso de los electrodos con revestimiento de bajo hidrogeno (EXX15, EXX16 y EXX18). En este tipo de electrodos debe evitarse que el revestimiento absorba humedad del ambiente; ya que esto puede originar porosidades y/o agrietamiento de la soldadura.

1.2.2.2.- Soldadura por Arco Bajo Gas Protector con Electrodo no Consumible (GTAW).

Este proceso mejor conocido como “Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)” o como “Tungsten Inert Gas (TIG)” se desarrollo en los Estados Unidos de América en la década de los 40. En un principio este método se usó en la industria aeronáutica para la soldadura de materiales de difícil soldabilidad como el aluminio y el magnesio, dado que se logran hacer soldaduras mas limpias y puras comparadas con otros métodos. El Gas de protección utilizado fue el Helio, pero poco a poco fue sustituido por el Argón motivado a su menor costo. La soldadura se hacia con corriente continua y el electrodo conectado al polo positivo; eventualmente se usaría corriente alterna. Hoy en día este método esta ampliamente extendido por el mundo y utilizado para una gran variedad de productos.

Principios de Operación:

La soldadura mediante el proceso "GTAW" efectúa la unión del metal por medio del calentamiento que produce el Arco Eléctrico. Una terminal es generalmente un electrodo de Tungsteno y la otra es la pieza a soldar que se va a trabajar. El Arco Eléctrico es protegido de la contaminación de la atmósfera, mediante la pantalla de un gas inerte. El electrodo de Tungsteno es una varilla de color gris de metal muy duro, denso y difícilmente fusible, puede contener una adición del 1% al 2% de Torio, estos aumentos le aportan capacidad y mejoran sus

cualidades, sin embargo los electrodos de Tungsteno puro son recomendables para la soldadura de aluminio, esto es porque la punta se derrite y tiende a formar una bola, de manera que esta permite aumentar la estabilidad del Arco. El Tungsteno fue seleccionado como material del electrodo por su característico alto punto de fusión (6000°F).

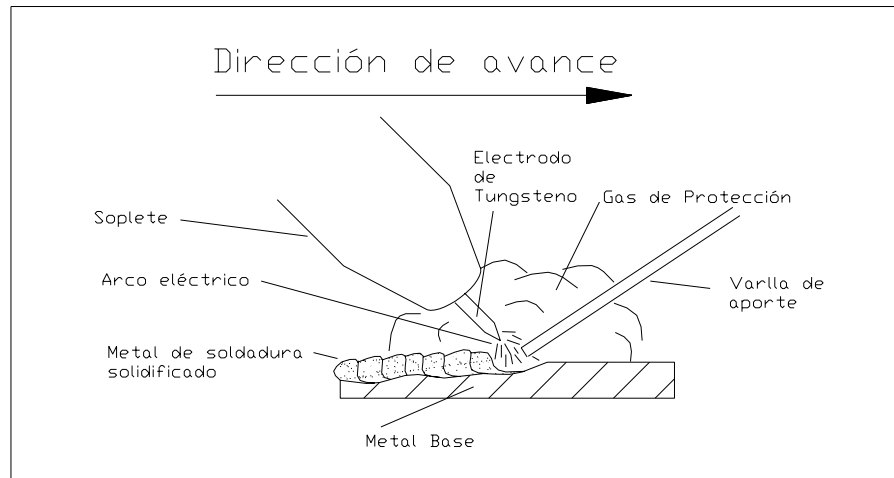


Figura 1.15.- SOLDADURA GTAW.

Equipo:

El equipo básico requerido para este proceso de soldadura se muestra en la Figura 1.16.

Un componente no mostrado y que usualmente se requiere, especialmente para la soldadura de aluminio, es un generador de alta frecuencia. Este componente sirve para mantener el arco estable cuando se suelda con corriente alterna, y para facilitar el encendido del arco cuando se suelda con corriente continua.

Equipos automáticos también pueden requerir de un alimentador de alambre y de un controlador del voltaje de la soldadura.

En general, el equipo requerido para este proceso de soldadura es más costoso que el que se requiere para la soldadura con electrodos revestidos.

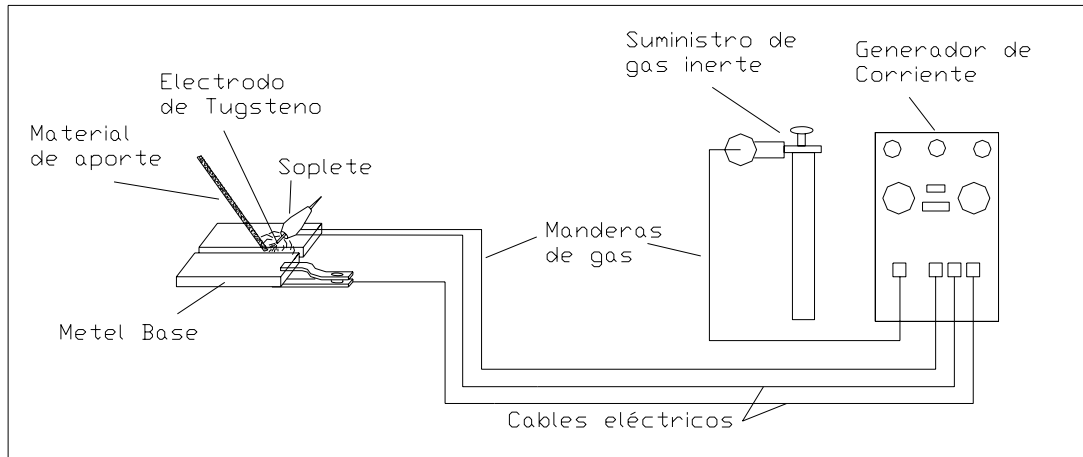


Figura 1.16.- EQUIPO DE SOLDADURA GTAW.

Características del proceso:

- Produce una soldadura limpia, libre de escorias y de inclusiones en el cordón.
- Pueden soldarse diversos tipos de uniones y en varias posiciones.
- Es un proceso muy versátil y automatizable.
- Por ser un proceso con bajo aporte térmico, es muy usado para el pase de raíz especialmente en la soldadura de tuberías a tope.

Materiales:

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

El metal de aporte debe ser, en general, de una composición similar a la del metal base. El diámetro del alambre se selecciona de acuerdo al espesor del material a soldar. Algunas de las especificaciones que prescriben los requerimientos de las varillas y alambres (rollos o bobinas) utilizadas en este proceso de soldadura son⁽⁷⁾:

- AWS A5.18 - Material de aporte de Acero al Carbono para procesos de soldadura protegidos por gas.
- AWS A5.28 - Material de aporte de Acero de Baja Aleación para procesos de soldadura protegidos por gas.

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

El electrodo utilizado no es consumible. Se utiliza Tungsteno como material del electrodo debido a su alto punto de fusión y habilidad de emitir electrones. La AWS tiene estandarizado este tipo de electrodos mediante la especificación AWS A5.12.

Identificación de los Electrodo y del Material de Aporte:

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

Los materiales de aporte de Aceros de Baja Aleación se identifican como indica la Figura 1.17.

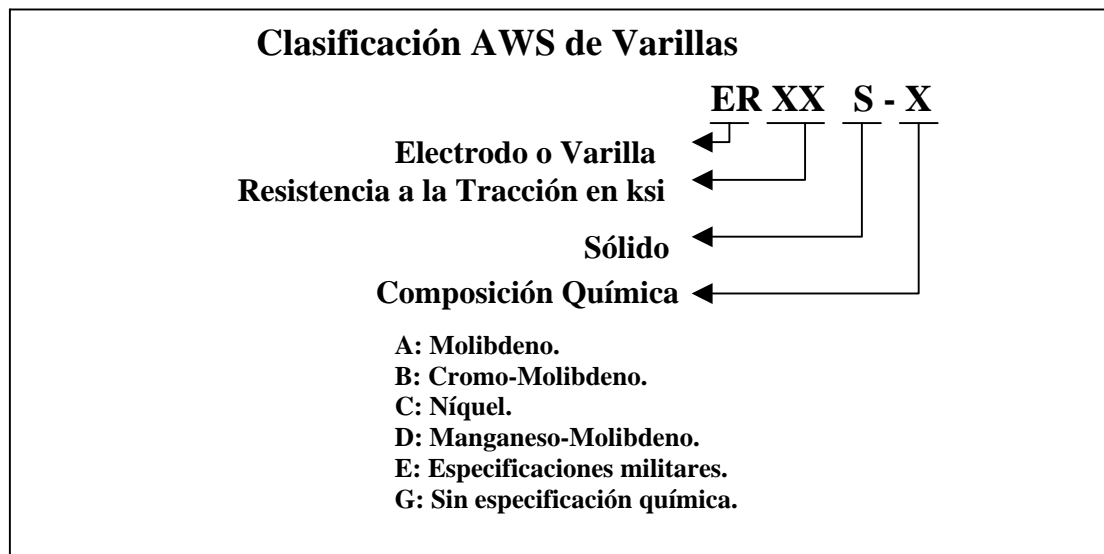


Figura 1.17.- IDENTIFICACIÓN DE VARILLAS PARA SOLDAR CON GTAW

Aplicaciones:

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

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

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

I.2.3.- DEFECTOS Y DISCONTINUIDADES DE SOLDADURA⁽⁶⁾.

Una discontinuidad es una imperfección de la estructura típica de un material o soldadura, tal como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

Un defecto es una o varias discontinuidades, las cuales por su naturaleza o por efecto acumulativo hacen que un producto o una parte de él no cumpla con los requerimientos mínimos de un código o norma aceptada.

Un defecto por lo tanto, es una condición no aceptable, la cual debe ser removida o corregida.

La ocurrencia de las discontinuidades y sus cantidades relativas depende mayormente de:

- El proceso de soldadura utilizado.
- La técnica de la soldadura.
- La calidad de los soldadores.
- El diseño de la junta.
- El material soldado.
- Las condiciones de trabajo y el ambiente.

I.2.3.1.- Clasificación de los defectos de soldadura.

La siguiente clasificación esta basada en el sistema establecido por la "Comisión V del Instituto Internacional de Soldadura (IIW)":

- SERIE 100, Grietas.
- SERIE 200, Cavidades.
- SERIE 300, Inclusiones Sólidas.
- SERIE 400, Fusión o penetración incompleta.
- SERIE 500, Forma Imperfecta o Contorno Inaceptable.
- SERIE 600, Otros defectos.

A continuación una breve explicación de cada uno de estos defectos.

SERIE 100, Grietas.

Las grietas son quizás los defectos mas graves de las soldaduras, ya que pueden ocasionar una severa reducción de la resistencia de la unión. Ellas se pueden propagar y causar fallas repentinas, por lo tanto las mismas deben ser reparadas.

Las Grietas se pueden dividir en Superficiales e Internas.

Las grietas superficiales pueden detectarse en la superficie de la soldadura mediante inspección visual, tintes penetrantes o partículas magnéticas. Hay varios tipos: transversales, longitudinales y de cráter. Igualmente son consideradas grietas superficiales las grietas que aparecen en la zona afectada por el calor.

Las grietas internas pueden estar localizadas en la zona afectada por el calor, en la interfase entre la soldadura y el metal base o completamente en el metal base.

En general, las grietas en la soldadura o adyacentes a la soldadura indican que el metal base o la soldadura tienen baja ductilidad y altos esfuerzos. Por lo tanto, factores tales como un enfriamiento rápido, intensidad de calor insuficiente, mala preparación de la junta, electrodo incorrecto, metal altamente aleado, etc. contribuyen a una baja ductilidad y a altos esfuerzos, originando la formación de grietas.

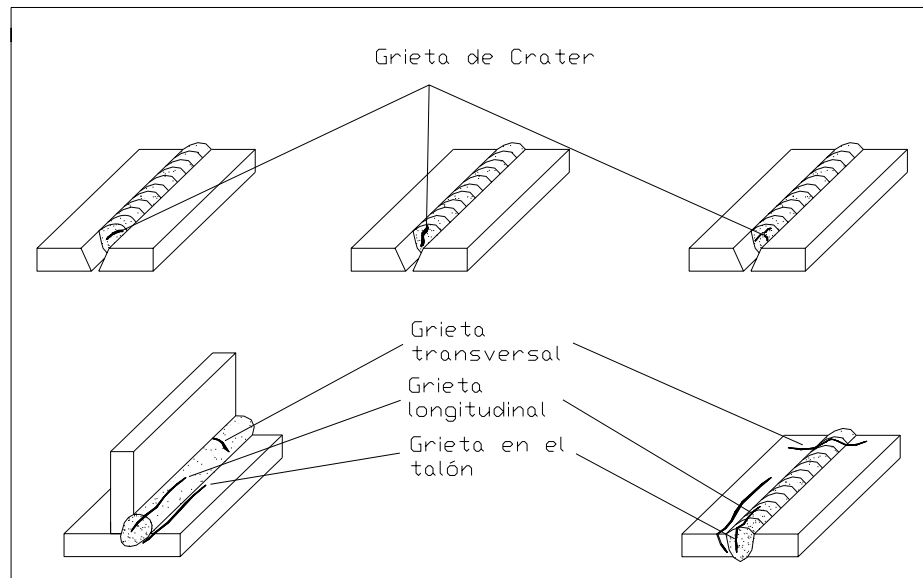


Figura 1.18.- GRIETAS Y FISURAS

SERIE 200, Cavidades.

El tipo de cavidad más común es la porosidad. Esta se define como una discontinuidad formada por atrapamiento de gas durante el proceso de solidificación. Algunas de ellas, por su forma alargada, se les llama bolsas de gas.

La porosidad de acuerdo a su localización, se divide en dos tipos: porosidad superficial, detectada por inspección visual; y porosidad interna, la cual puede ser detectada solamente mediante técnicas específicas para la detección de discontinuidades internas, tales como radiografía y ultrasonido.

Las bolsas de gas pueden presentarse en la soldadura como cavidades tremendamente largas o cavidades extremadamente pequeñas esparcidas a lo largo de la soldadura. Algunos tipos ocurren exclusivamente en la raíz y otros casi en la superficie.

La porosidad no es una discontinuidad tan peligrosa como las grietas ya que las cavidades usualmente son redondas y no se propagan como las grietas.

Algunas causas comunes de porosidad son: alto contenido de azufre en el metal base, hidrocarburos en la superficie del metal, pintura, agua, aceite, humedad producida por los electrodos, fundente húmedo, etc.

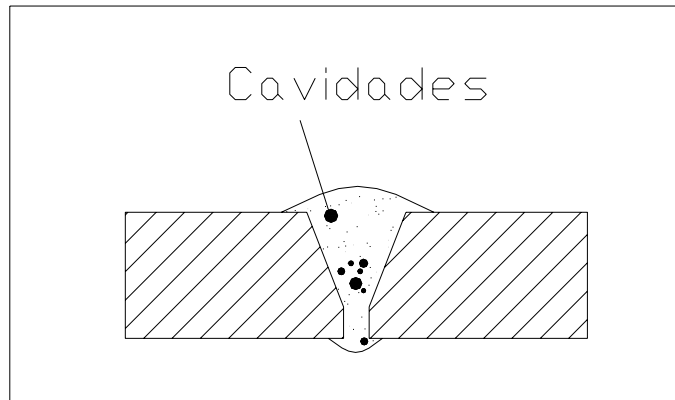


Figura 1.19.- CAVIDADES

SERIE 300, Inclusiones Sólidas.

Normalmente se encuentran debajo de la superficie e incluyen cualquier material foráneo atrapado en el depósito de la soldadura.

El tipo más común es la escoria, la cual se define como un material sólido y no metálico atrapado en la soldadura o entre el metal base y la soldadura. Generalmente se presenta en soldaduras realizadas con equipo SMAW.

Las inclusiones también pueden ser producidas por atrapamiento del revestimiento del electrodo o del fundente utilizado en el proceso de soldadura por arco sumergido.

En ciertos metales, particularmente en los que poseen un recubrimiento de óxido de alto punto de fusión, se pueden formar inclusiones de óxido en la soldadura, como en el aluminio.

También existen inclusiones metálicas, tales como las inclusiones de tungsteno. Estas se pueden formar durante el proceso de soldadura por arco con electrodo de Tungsteno (GTAW).

Para prevenir las inclusiones de escoria, esta debe ser removida de la superficie de la soldadura entre pase y pase. Se deben utilizar electrodos del tamaño correcto y técnicas de soldadura apropiadas.

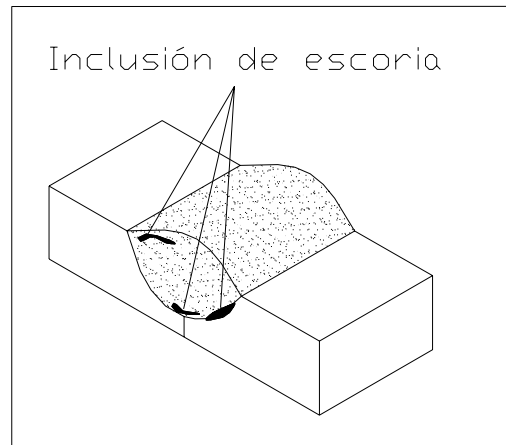


Figura 1.20.- INCLUSIONES DE ESCORIA

SERIE 400, Fusión o Penetración Incompleta.

La falta de fusión se define como una fusión incompleta entre capas adyacentes de soldadura o entre la soldadura y el metal base.

Las causas más frecuentes de la falta de fusión son por no alcanzar el punto de fusión del metal base o de la soldadura ya depositada o por no disolver, al no utilizar el fundente adecuado, los óxidos y otros materiales extraños presentes en la superficie sobre las cuales se fusionaría la soldadura.

La falta de penetración consiste en no obtener en la soldadura, la dimensión específica de penetración de la junta o de la raíz de la soldadura.

Las causas más frecuentes de esta discontinuidad son: una mala preparación de la junta, la selección del electrodo incorrecto, técnica de soldadura inadecuada y/o falta de destreza por parte del soldador.

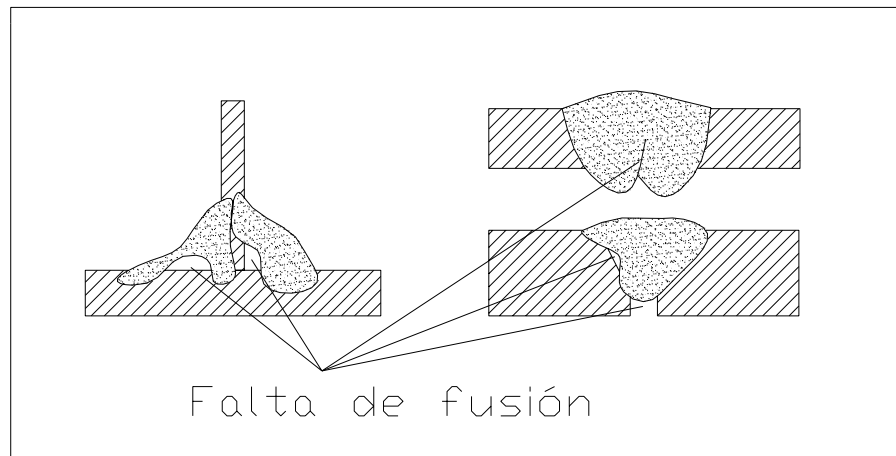


Figura 1.21.- FUSIÓN INCOMPLETA

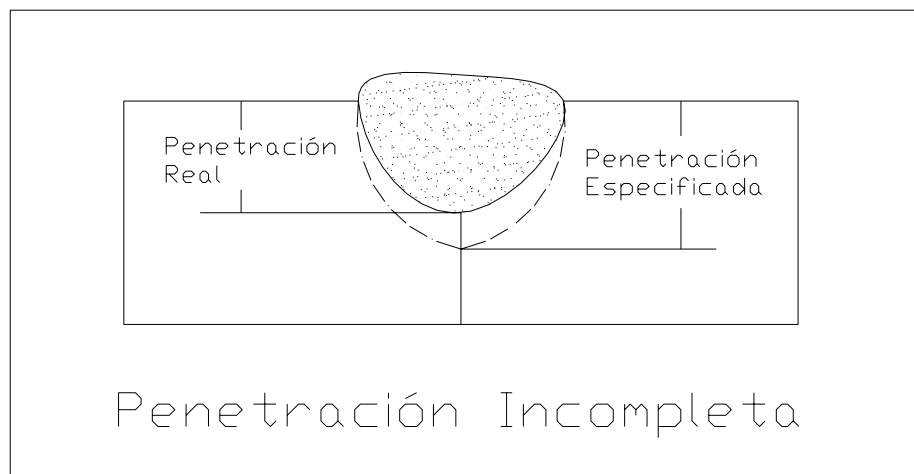


Figura 1.22.- PENETRACIÓN INCOMPLETA

SERIE 500, Forma Imperfecta o Contorno Inaceptable.

Una de las principales discontinuidades de esta serie es la socavación, la cual se define como una ranura o muesca en el metal base adyacente a la soldadura que no se llena con el metal de aporte. La socavación ocurre tanto en soldadura en filete como en soldadura en ranuras.

Las causas que normalmente producen la socavación son: corrientes excesivas, manipulación incorrecta del electrodo, ángulo incorrecto del electrodo, etc.

La socavación se localiza en el metal base adyacente a la soldadura, mientras que perfil imperfecto es una discontinuidad de la soldadura en sí.

El perfil imperfecto está relacionado con la técnica del soldador, corriente de soldadura, tipo de electrodo, etc.

Otras discontinuidades de esta serie son la falta de relleno y el solapamiento.

La falta de relleno se define como una depresión en la cara de la soldadura o en la superficie de la raíz. Esta discontinuidad reduce el área de la sección transversal de la soldadura por debajo de las dimensiones de diseño; y por lo tanto actúa como concentrador de esfuerzos que pueden originar una falla.

El solapamiento es otra discontinuidad de esta serie y es definido como un exceso de soldadura que sobresale de la línea de unión entre la soldadura y el metal base.

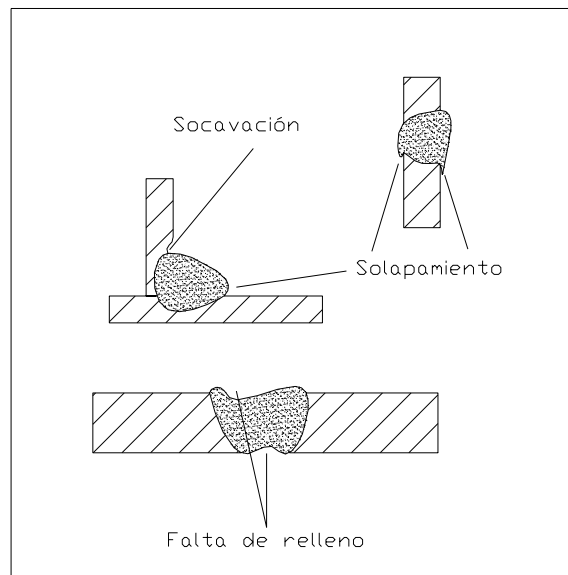


Figura 1.23.- PERFILES INACEPTABLES Y SOCAVACIÓN

SERIE 600, Otros defectos.

Entre los más comunes de los otros defectos que se presentan en las soldaduras se encuentran: Arcos eléctricos fuera del bisel y la salpicadura excesiva.

Los Arcos eléctricos fuera del bisel son discontinuidades que se forman cuando el soldador accidentalmente enciende el electrodo en el metal base adyacente a la soldadura. Esto causa problemas particularmente en aceros endurecibles y en aplicaciones críticas; y por lo tanto, no debe ser aceptado.

La salpicadura excesiva adyacente a la soldadura es también una discontinuidad y no debe ser aceptada. Es extremadamente perjudicial cuando las soldaduras deben ser inspeccionadas mediante ensayos no destructivos. Puede ser causada por las siguientes razones: electrodos húmedos, corriente excesiva, sople magnético, etc.

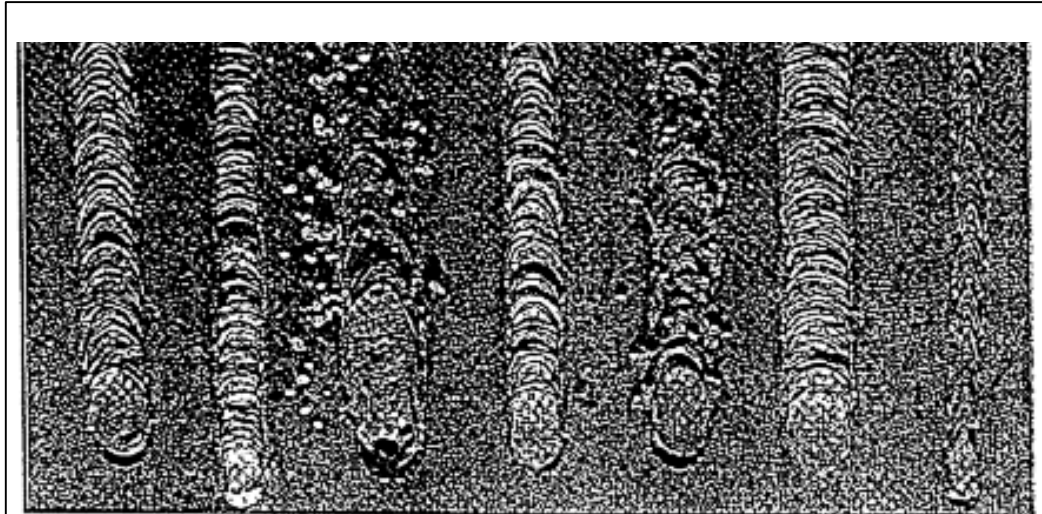


Figura 1.24.- EFECTOS DEL ARCO ELÉCTRICO, AMPERAJE Y/O VELOCIDAD DE AVANCE INADECUADO.

I.3.- SOLDABILIDAD.

La mayoría de los aceros puede ser soldado, pero uniones satisfactorias no pueden ser producidas en todos los aceros con la misma facilidad.

Un material es soldable, tiene buena soldabilidad, si puede unirse sin dificultad excesiva o uso de procedimientos especiales y costosos, y la unión es similar, en todos los aspectos que sean necesarios, a una pieza de metal base.

La soldabilidad depende del grado, la composición química y las propiedades mecánicas del acero.

I.3.1.- SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS Cr-Mo⁽⁸⁾.

La Soldabilidad de estos aceros es muy similar a las del resto de los aceros de baja aleación. El mayor problema que presentan se produce en la zona afectada por el calor, y es la fractura de los granos gruesos endurecidos. Otro problema bastante común es el agrietamiento por recalentamiento cuando se les realiza el tratamiento térmico de alivio de tensiones posterior a la soldadura a temperaturas muy elevadas (cerca de los 700°C ó 1292°F) y durante largos periodos de tiempo; por tal motivo se recomienda ampliamente realizar un apropiado precalentamiento y siempre utilizar materiales de aporte de bajo Hidrógeno.

Aunque no siempre es necesario realizar tratamiento térmico de alivio de tensiones a los aceros de bajo contenido de Cromo, es altamente recomendado hacérselo a todos los aceros de esta familia, especialmente justo momentos después de haber concluido el proceso de soldadura, ya que mejora sustancialmente las propiedades de esta junta con respecto a la fluencia en caliente y la dureza. Otra ventaja del tratamiento térmico de alivio de tensiones es la de ayudar en la dispersión del Hidrógeno que ha podido quedar atrapado en el interior del metal, especialmente en el cordón de soldadura y la zona afectada por el calor, reduciendo de esta forma los peligros de agrietamiento por Hidrógeno.

Un parámetro altamente utilizado para revelar la susceptibilidad de estos aceros a el agrietamiento por recalentamiento es el llamado P_{SR}. Este indica que un acero Cromo-Molibdeno es susceptible a este tipo de agrietamiento cuando contiene cantidades ≤1.5%Cr; ≤1.0%Cu; ≤2.0%Mo y ≤0.15%V, Nb y Ti. :

$$P_{RS} = Cr + Cu + 2Mo + 10V + 7Nb + 5Ti - 2$$

Cuando P_{RS} es menor que cero, el material es considerado sensible a el agrietamiento por recalentamiento, con la excepción de que cuando un acero tiene mas de 2%Cr, la tendencia a agrietarse por recalentamiento es prácticamente nula.

Para la soldadura de los aceros al Cromo-Molibdeno, generalmente se utiliza un material de aporte con una composición química similar a la del metal base. La temperatura de precalentamiento depende del porcentaje de Carbono y del espesor del material; y varia entre 40 y 370°C. El tratamiento posterior a la soldadura se realiza entre 600 y 760°C.

1.3.2- INFLUENCIA DEL CALOR APORTADO SOBRE EL METAL EN LA SOLDADURA.

El calor generado por la fusión para lograr la fusión de los metales involucrados en la soldadura, afecta tanto a estos metales como al metal base dependiendo de los ciclos de calor requerido por la soldadura.

Estos ciclos dependen de la cantidad de calor suministrado durante el proceso de soldadura, la temperatura del material base inmediatamente antes de realizar la soldadura y del espesor y la geometría de la junta. Mediante el control de los dos primeros factores se pueden modificar, en cierta forma, las características de la zona afectada por el calor.

Entre los efectos que se producen en el material base como consecuencia de los ciclos térmicos están:

- Cambios microestructurales: disolución o precipitación de fases, crecimiento de grano, etc.
- Variación de las propiedades mecánicas: resistencia de cedencia, resistencia a la tracción, tenacidad, dureza, etc.
- Disminución de la resistencia a la corrosión.
- Generación de esfuerzos residuales.

El calor suministrado durante la producción de una unión soldada es un factor que afecta las temperaturas y velocidades de enfriamiento del deposito de soldadura y de la zona afectada por el calor.

Los factores que determinan la entrada de calor en un proceso de soldadura son: la intensidad de la corriente de soldadura, el voltaje de soldadura y la velocidad de avance. La entrada de calor generalmente se especifica en unidades de energía por unidad de longitud, por ejemplo: Julios/milímetro o Julios/pulgada.

1.3.3- PROBLEMAS DERIVADOS DE LA SOLDABILIDAD EN LOS ACEROS Cr-Mo⁽⁶⁾.

En los aceros, la soldabilidad se relaciona inversamente a la habilidad del material para endurecerse, así como a la máxima dureza que puede obtenerse. Un acero con elevada capacidad de endurecimiento y elevada dureza tiene poca soldabilidad y gran tendencia a agrietarse cuando se suelda; por el contrario, un acero con poca capacidad de endurecimiento y poca dureza tiene soldabilidad excelente prácticamente poca tendencia a agrietarse al ser soldado.

1.3.3.1.- Agrietamiento en frío.

Este tipo de agrietamiento se produce después que el material ha solidificado; pudiéndose presentar, incluso, después de varias semanas de haber puesto la pieza soldada en servicio.

Este problema se presenta en la soldadura de los aceros, y se produce por la combinación simultánea de tres factores:

- Presencia de Hidrogeno en la soldadura.
- Microestructuras susceptibles al agrietamiento (duras).
- Esfuerzos en la soldadura.

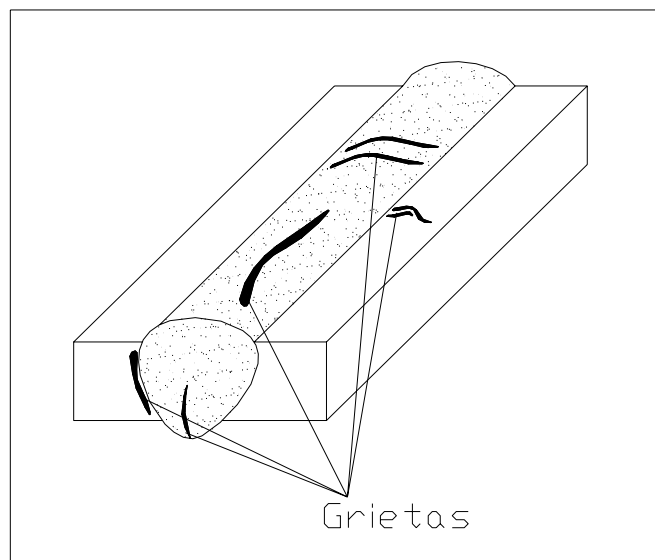


Figura 1.25.- GRIETAS CARACTERÍSTICAS DEL AGRIETAMIENTO EN FRÍO.

A continuación una breve explicación de estos factores.

Hidrogeno en la soldadura.

El Hidrogeno puede entrar en una soldadura a partir de cualquiera de las siguientes fuentes de contaminación:

- Grasa o aceite en la superficie del metal base o material de aporte.
- Humedad en el revestimiento de los electrodos, fundentes de soldar, gases de protección o en la superficie de la pieza a soldar.
- Cierta tipo de oxido superficial.

Microestructuras susceptibles.

Como regla general, mientras más duros sean el deposito de soldadura y la zona afectada por el calor, mayor será la susceptibilidad de los aceros al agrietamiento por Hidrógeno.

Esfuerzos.

Los esfuerzos en el material soldado se producen inevitablemente debido a las expansiones y contracciones que sufre el material como consecuencia de los ciclos térmicos que se producen durante el proceso de soldadura.

1.3.3.2.- Agrietamiento en caliente.

El agrietamiento o fisuración en caliente se produce en la soldadura durante su proceso de enfriamiento, y antes de que el material logre alcanzar la temperatura ambiente. Este tipo de agrietamiento generalmente se produce en el deposito de soldadura, pero también puede presentarse en la zona afectada por el calor.

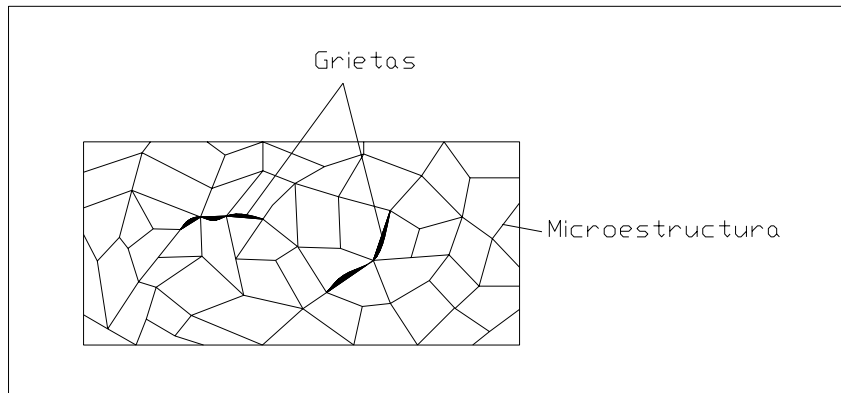


Figura 1.26.- GRIETAS CARACTERÍSTICAS DEL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE.

Los factores que determinan este tipo de agrietamiento son:

- Los esfuerzos que se producen durante la ejecución de la soldadura debido a las expansiones y contracciones del material.
- La susceptibilidad del material al agrietamiento la cual depende de su composición química y su microestructura.
- La presencia de impurezas, tales como el Azufre y el Fósforo en la soldadura.

Entre los materiales que presentan mayor tendencia a este tipo de agrietamiento están: las aleaciones de Aluminio, los aceros inoxidable austeníticos, y las aleaciones de Níquel.

1.3.4.- TÉCNICAS PARA MEJORAR LA SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS Cr-Mo.

La soldabilidad de los aceros se puede mejorar mediante el uso de diferentes técnicas o procesos, entre los más importantes tenemos el control de la polaridad y los tratamientos térmicos.

Un tratamiento térmico es un proceso mediante el cual una pieza es sometida a uno o varios ciclos de calentamiento y enfriamiento para variar alguno o algunas de sus propiedades en la forma deseada. Entre las propiedades que se pueden modificar mediante un tratamiento térmico están: resistencia mecánica, dureza, tenacidad, ductilidad, resistencia a la corrosión, estabilidad dimensional, esfuerzos residuales, microestructuras, etc.

Las variables fundamentales a controlar mediante un tratamiento térmico son:

- La temperatura de calentamiento.
- El tiempo que se mantiene la pieza a la temperatura de calentamiento.
- La velocidad de calentamiento.
- La velocidad de enfriamiento.

1.3.4.1.- Polaridad.

Al controlar la polaridad de la corriente, se puede jugar con la penetración, aporte térmico e incluso con la autolimpieza de cordón.

De esta forma, cuando se utiliza polaridad directa (electrodo conectado al polo negativo), la energía del arco se concentra fundamentalmente en la pieza, por lo que se obtiene un rendimiento térmico relativamente aceptable con buena penetración.

Si se invierte la polaridad, el reparto térmico es menos favorable, lo que se traduce en un baño relativamente ancho, con poca penetración y una excesiva acumulación de calor en el electrodo.

De acuerdo con esto, la polaridad recomendada en la CD es la directa, no obstante, presenta problemas en las aleaciones de aluminio y magnesio, las cuales generan óxidos refractarios que cubren el baño, dificultando la soldadura.

La Corriente Alterna agrupa las ventajas de las dos polaridades, la penetración y la ruptura de la capa de óxido, por lo que es utilizada en soldadura de aleaciones de aluminio y magnesio. Su principal inconveniente es el inicio del arco y la estabilidad del mismo, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

1.3.4.2.- Tratamiento Térmico en soldadura.

La aplicación de calor antes, entre pases y/o después de producir una unión soldada puede ser una parte importante de un procedimiento de soldadura.

Pre calentamiento y Temperatura entre pases:

La razón principal para el pre calentamiento y la aplicación de calor entre pases, es la de reducir la velocidad de enfriamiento del depósito de soldadura y de la zona afectada por el calor. Mediante esto se logra:

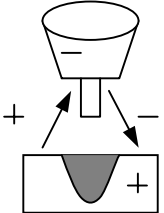
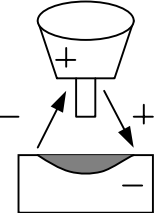
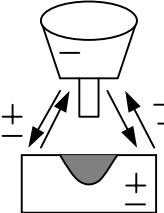
TIPO DE CORRIENTE	CD		CA
	DIRECTA	INVERSA	ALTERNA
Flujo de electrones e iones. Perfil de penetración.			
Acción de Limpieza.	No	Si	Solamente durante el periodo de polaridad invertida
Balance de Calor.	70% en la Pieza 30% en el electrodo	30% en la Pieza 70% en el electrodo	50% en la Pieza 50% en el electrodo
Penetración.	Profunda	Ligera	Media

Figura 1.27.- CARACTERÍSTICAS DEL ARCO ELÉCTRICO Y DEPÓSITO DE SOLDADURA.

- Reducir la tendencia a la formación de microestructuras duras y frágiles.
- Reducir la distorsión y los esfuerzos residuales.
- Evitar el agrietamiento en frío o fragilización por hidrogeno de la unión soldada.
- Facilitar la soldadura de materiales de alta conductividad térmica, como el Cobre y sus aleaciones.

Otra razón para la aplicación de precalentamiento es la eliminación de la humedad superficial en los materiales que se van a soldar.

La temperatura de precalentamiento depende fundamentalmente de composición del material, espesor, rigidez de la junta a soldar y proceso de soldadura utilizado.

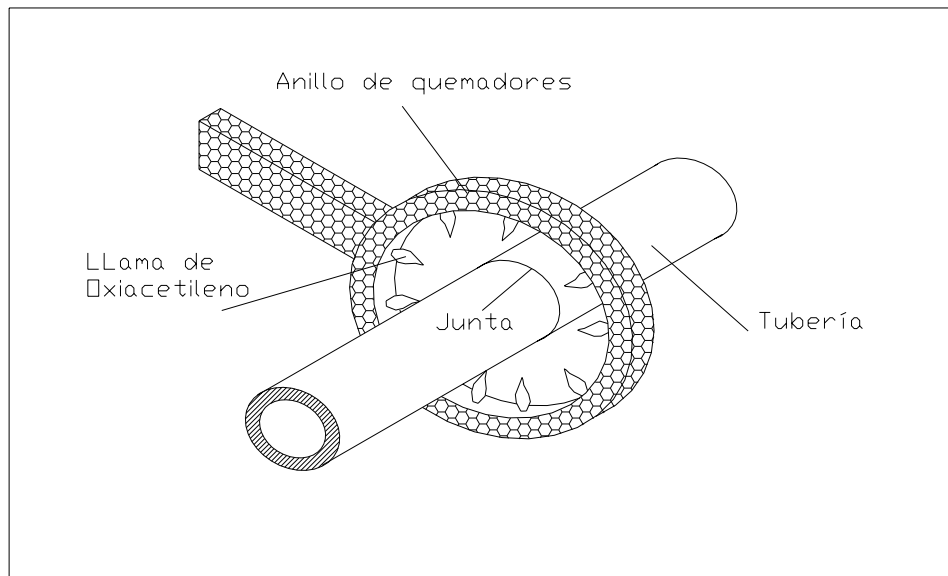


Figura 1.28.- EQUIPO UTILIZADO PARA LA REALIZACIÓN DEL PRECALENTAMIENTO.

Tratamiento Térmico Posterior a la Soldadura:

Las principales razones para realizar tratamiento térmico posterior a la soldadura son las siguientes:

- Reducir los esfuerzos residuales producidos por la soldadura (tratamiento de alivio de tensiones).
- Reducir la dureza y aumentar la tenacidad del depósito de soldadura y de la zona afectada por el calor.
- Obtener estabilidad dimensional.
- Mejorar la resistencia a la corrosión.
- Incrementar la resistencia mecánica del depósito de soldadura y de la zona afectada por el calor (tratamiento de envejecimiento) en aleaciones no férreas, tales como algunos Aluminios y aleaciones de Níquel.

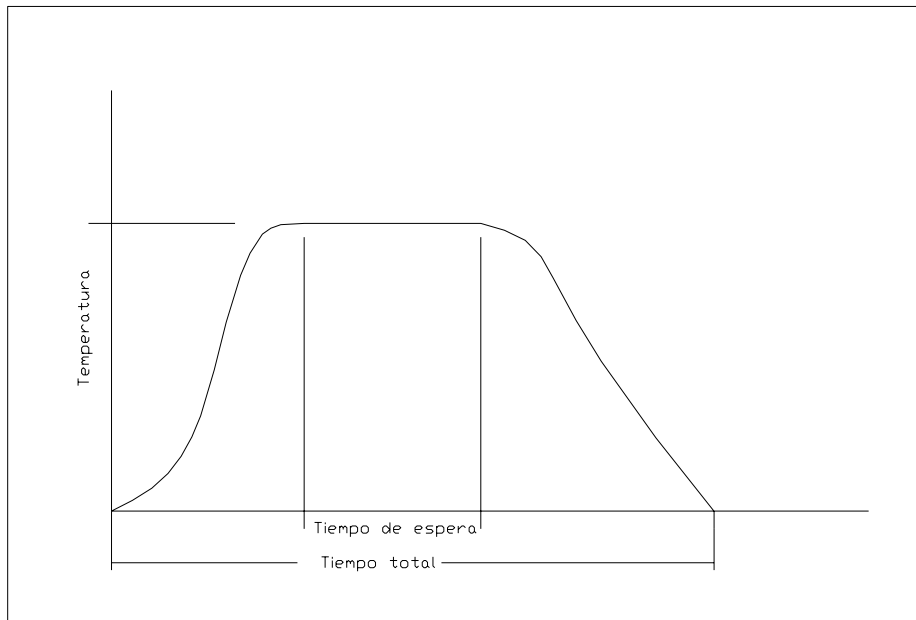


Figura 1.29.- CURVA CARACTERÍSTICA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSIONES.

1.3.4.3.- Calentamiento y medición de temperatura⁽⁹⁾.

La aplicación de calor en una soldadura puede realizarse calentando la pieza soldada completamente en un horno o mediante un calentamiento localizado de la soldadura. Este último método es el que normalmente se utiliza en la soldadura en campo, puede realizarse con la aplicación de calor por inducción, por resistencia, con llama, a través de reacciones exotérmicas, por radiación infrarrojo o por cualquier otro método conveniente.

Durante el calentamiento localizado de una soldadura debe tenerse muy en cuenta lo siguiente:

- El ancho de la banda debe ser adecuado. En soldadura de tuberías, con el propósito de evitar gradientes de temperatura excesivos entre la superficie exterior e interior del tubo, el ancho de la banda calentada debe ser de por lo menos cinco veces el espesor del material.
- Cuando se realizan soldaduras de acuerdo a un código, el ancho de la banda calentada debe ser superior o igual al mínimo especificado.
- La temperatura debe ser comprobada mediante termopares, o con marcadores / pinturas indicadoras de temperatura.

- En el caso de aplicación de calor con llama, la temperatura debe medirse en la superficie opuesta a la que se aplica calor. Si esta no es accesible, la temperatura debe medirse en la superficie calentada; pero antes de realizar la medición, se debe remover la fuente de calor, y esperar aproximadamente un minuto por cada 25 mm de espesor del material.

I.4.- CÓDIGO ASME, SECCIÓN IX⁽¹⁰⁾.

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

Esta sección trata de la Calificación de Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar tanto para las soldaduras convencionales como para las soldaduras fuertes (QW y QB por sus siglas en Ingles, respectivamente)

Ambas partes se subdividen en cuatro artículos, estos son:

- QW y QB
- Art. I y XI: Requerimientos generales.
- Art. II y XII: Calificación de Procedimientos.
- Art. III y XIII: Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar.
- Art. IV y XIV: Registros.

I.4.1.- ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS).

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

I.4.2.- REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (RCP).

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

I.4.3.- CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (CDS).

Una CDS es un comprobante de que las habilidades con que cuenta el soldador son lo suficientemente buenas como para calificar un procedimiento y por lo tanto una garantía de su trabajo a la hora de fabricar o reparar uniones soldadas aprobadas por el procedimiento calificado. Las CDS's, al igual que los RCP's, no pueden ser alterados bajo ningún concepto, ya que pondría en duda el desempeño del soldador en el momento en que realizó las pruebas. El formato debe cumplir con los requerimientos del personal supervisor, de la empresa o del ente calificador, por lo que no tiene que ser único. Este registro de calificación debe estar a disposición de toda persona que ponga en duda las habilidades del soldador, ya sean compañeros, jefes o inspectores.

I.4.4.- NÚMEROS P Y NÚMEROS DE GRUPO.

Para reducir el número de procedimientos de soldadura calificados requeridos, a los metales se les ha asignado unos Números P y para metales base ferrosos los cuales tienen especificados pruebas de impacto, se les asignan además, Números de Grupo dentro de los Números P. Estas asignaciones son basadas esencialmente sobre características comparables del metal base tales como composición, soldabilidad y propiedades mecánicas, donde esto pueda ser lógicamente realizado; estas asignaciones no implican que los metales bases puedan ser sustituidos indiscriminadamente sin tomar en cuenta consideraciones de compatibilidad desde el punto de vista metalúrgico, así como requerimientos de tratamientos térmicos

posteriores a la soldadura, diseño, propiedades mecánicas y requerimientos de servicio.

Los Números P, así como los Números de Grupo, se listan en el Código ASME, Sección IX, Párrafo QW/QB-422. Ver apéndice 1.

I.4.5.- NÚMEROS F.

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

Los Números F se listan en la Sección IX del Código ASME. Ver apéndice 1.

I.4.6.- NÚMEROS A.

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

Los Números A se listan en la Sección IX del Código ASME. Ver apéndice 1.

I.4.7.- VARIABLES DE LA SOLDADURA.

Existen variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales que dependen del equipo a utilizar y las condiciones de soldeo. A continuación una breve explicación de ellas. Las Tablas 5 y 6 muestran las Variables y su importancia en los procesos SMAW y GTAW.

Variables Esenciales:

Son variables que caracterizan una EPS, un cambio en alguna de ellas podría afectar las propiedades mecánicas de la junta y por lo tanto requeriría una nueva calificación.

Variables Esenciales Suplementarias:

Son variables que en caso de ser cambiadas modifican cierta propiedad de la junta, que en caso de ser requerida se debe tomar muy en cuenta a la hora de diseñar la EPS.

Variables No Esenciales:

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

Variables de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPS) para procesos SMAW

Párrafo	Condición de la Variable	Esc.	Esc. Supl.	No Esc.
QW-402 Junta	.1	φ Diseño de la junta		X
	.4	- Respaldo		X
	.10	φ Espacio de Raíz		X
	.11	± Sujetadores		X
QW-403 Metal Base	.5	φ N° de Grupo		X
	.6	Limite de impacto T		X
	.7	Limites T/t > 8"	X	
	.8	φ Espesor Calificado	X	
	.9	Espesor de Pases > ½"	X	
	.11	φ N° P Calificado	X	
QW-404 Metal de Aporte	.13	φ N° P 5, 9 ó 10	X	
	.4	φ N° F	X	
	.5	φ N° A	X	
	.6	φ Diámetro		X
	.7	φ Diámetro >¼"		X
	.12	φ Clasificación AWS		X
	.30	φ Espesor	X	
QW-405 Posición	.33	φ Clasificación AWS		X
	.1	+ Posición		X
	.2	φ Posición		X
QW-406 Precalentamiento	.3	φ		X
	.1	Reducciones >100°F	X	
	.2	φ Mant. de la Temp		X
QW-407 T. T. de Alivio de Tensiones	.3	Incrementos >100°F		X
	.1	φ T. Termico de A. de T	X	
	.2	φ T. Termico de A. de T		X
	.4	Espesor Límite	X	
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Impulso eléctrico		X
	.4	φ Corriente o Polaridad		X
	.8	φ Rango de I y V		X
QW-410 Técnica	.1	φ Oscilación		X
	.5	φ Técnica de limpieza		X
	.6	φ Metodo de respaldo porterior		X
	.25	φ Manual o automático		X
	.26	± Limpieza de escoria		X

+ Aumento
- Disminución
φ Cambio

> Incremento / mayor que
< Decremento / menor que

TABLA 1.5

Variables de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPS) para procesos GTAW

Párrafo	Condición de la Variable	Esc.	Esc. Supl.	No Esc.
QW-402 Junta	.1	φ Diseño de la junta		X
	.5	- Respaldo		X
	.10	φ Espacio de Raíz		X
	.11	± Sujetadores		X
QW-403 Metal Base	.5	φ N° de Grupo		X
	.6	Limite de impacto T		X
	.7	Limites T/t > 8"	X	
	.8	φ Espesor Calificado	X	
	.9	Espesor de Pases > ½"	X	
	.11	φ N° P Calificado	X	
QW-404 Metal de Aporte	.13	φ N° P 5, 9 ó 10	X	
	.3	φ Tamaño		X
	.4	φ N° F	X	
	.5	φ N° A	X	
	.12	φ Clasificación AWS		X
	.14	± Aporte	X	
	.22	± Consumibles		X
	.23	φ Forma del metal de aporte	X	
QW-405 Posición	.30	φ Espesor	X	
	.33	φ Clasificación AWS		X
	.1	+ Posición		X
QW-406 Precalentamiento	.2	φ Posición		X
	.3	φ		X
	.1	Reducciones >100°F	X	
QW-407 T. T. de Alivio de Tensiones	.2	φ Mant. de la Temp		X
	.3	Incrementos >100°F		X
	.1	φ T. Termico de A. de T	X	
QW-408 Gas	.2	φ T. Termico de A. de T		X
	.4	Espesor Límite	X	
	.1	± Rastro φ de component e		X
	.2	φ Simple, mezcla o %	X	
	.3	φ Rata de Flujo		X
QW-409 Características Eléctricas	.5	± ó φ de flujo de r espal do		X
	.9	- Respaldo o φ de Gmp	X	
	.10	φ Protección	X	
	.1	> Impulso eléctrico		X
QW-410	.3	± Intensidad		X
	.4	φ Corriente o Polaridad		X
	.8	φ Rango de I y V		X
	.12	φ Electrodo de Tugsteno		X
QW-410	.1	φ Oscilación		X
	.3	φ Orificio		X
	.5	φ Técnica de limpieza		X
	.6	φ Metodo de respaldo porterior		X
	.7	φ Vaiven		X
	.9	φ Pase simple o multiple		X
	.10	φ Electrodo simple o multiple		X
	.11	φ cierre de la camara de gas	X	
	.15	φ Espacio de electrodos.		X
	.25	φ Manual o automático		X
.26	± Limpieza de escoria		X	

+ Aumento
- Disminución
φ Cambio

> Incremento / mayor que
< Decremento / menor que

TABLA 1.6

I.4.8.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

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

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

- Tipo y origen de la discontinuidad.
- Proceso de manufactura.
- Accesibilidad.
- Nivel de sensibilidad requerido.

A continuación se describen los ensayos utilizados por excelencia para las uniones soldadas en tuberías.

I.4.8.1.- Inspección Visual.

Es el ensayo no destructivo de mayor aplicación, y en donde el equipo principal lo conforma el ojo humano. Es de fácil y rápida aplicación, relativamente económico y no requiere de equipo especial, solo se debe poseer una buena visión. Adicionalmente se puede utilizar la galga de medición como instrumento de ayuda. A fin de facilitar la comprensión de este ensayo, se describen a continuación los aspectos más importantes del mismo.

Prácticas en la Inspección Visual:

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

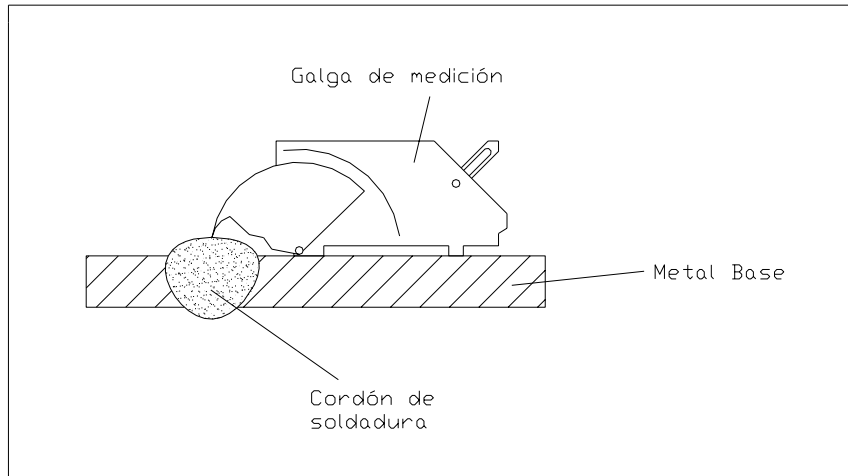


Figura 1.30.- GALGA DE MEDICIÓN.

Inspección antes de empezar a soldar:

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

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

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

Inspección durante el proceso de soldadura:

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

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

Inspección después del proceso de soldadura:

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

- Exactitud dimensional del producto soldado (incluyendo distorsión).
- Conformidad con los dibujos o planos.
- Aceptabilidad de la apariencia de la soldadura (rugosidad superficial, salpicaduras, etc.).
- Presencia de discontinuidades (cráteres, grietas, solape, socavaciones, etc.).
- Desalineación con respecto a marcas de referencia.
- Esmerilado excesivo.
- Gráficas de temperatura y tratamiento térmico.

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

I.4.9.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS.

Son aquellos ensayos o análisis que originan la destrucción de la pieza o por lo menos de una parte de ella. Su función es comprobar la aptitud de los materiales para su empleo; es decir, que sus propiedades mecánicas o químicas, cumplan con los requisitos establecidos para el servicio que serán sometidos. Son utilizados para calificar los procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de máquinas de soldar, así como para determinar las propiedades mecánicas y metalúrgicas tanto del material base como del material de aporte.

A continuación se presenta una descripción general de los ensayos destructivos más utilizados.

1.4.9.1.- Ensayo de dureza Brinell.

La prueba de dureza mide la resistencia que ofrece un material a ser penetrado. El penetrador es una esfera de Acero a Tungsteno-Carbura. La carga se aplica al presionar lentamente el penetrador contra la superficie ensayada por un periodo determinado.

De los resultados se puede calcular un valor de dureza conociendo la carga aplicable y las dimensiones de la impresión, mediante la siguiente fórmula:

$$BHN = 2.P / \pi.D.[D-\sqrt{(D^2-d^2)}]$$

Estas pruebas no deben hacerse cerca del borde de la muestra o cerca de otra penetración ya existente. La distancia mínima para efectuar la nueva toma de dureza, es de tres veces el diámetro de la impresión anterior.

Variables importantes del ensayo:

A continuación se indican las variables que un inspector debe verificar en este ensayo:

- Calibración del equipo.
- Carga utilizada.
- Tipo de penetrador.
- Preparación de la superficie a ensayar.
- Posicionamiento de la muestra.
- Número y distribución de tomas de dureza.

1.4.9.2.-Ensayo de tracción.

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

dividiendo el alargamiento total por una longitud inicial de referencia. Como resultado de este ensayo se obtiene un diagrama esfuerzo deformación.

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

- Tipo de cupón.
- Número, geometría y dimensiones del cupón.
- Calibración del equipo de ensayo.
- Posicionamiento del cupón.
- Velocidad de aplicación de la carga.

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

- Carga máxima a la tracción (Nw; lbf)
- Esfuerzo máximo (Mpa; PSI)
- Reducción de área (en porcentaje %)
- Elongación (en porcentaje %)
- Localización de la fractura

El inspector debe verificar que los valores obtenidos cumplan con los requisitos del código ASME Sección IX⁽¹⁰⁾.

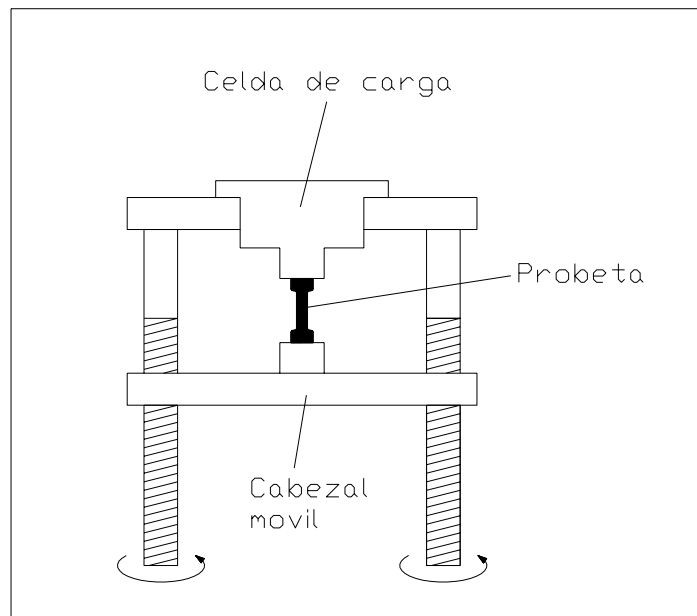


Figura 1.31.- BANCO DE ENSAYO UNIVERSAL

1.4.9.3.-Ensayo de doblado.

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

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

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

El número y las dimensiones de las muestras para el ensayo están determinadas en esta norma y será realizado en una máquina de doblado guiado.

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

- Tipo de cupón.
- Número, geometría y dimensiones del cupón.
- Posicionamiento del cupón.
- Dimensiones del dispositivo de doblado.

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

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

En soldadura, para este ensayo, generalmente se exige un ángulo de doblez de 180° y no deben aparecer grietas mayores de 1/8 de pulgada (3,2mm) en la cara convexa del cupón.

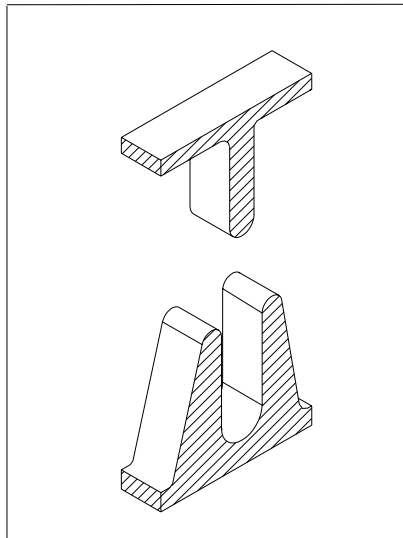


Figura 1.32.- MÁQUINA DE DOBLADO.

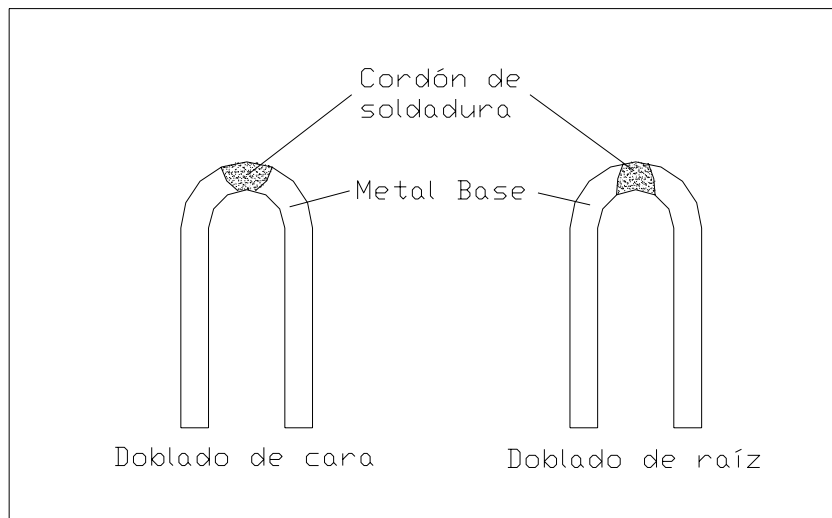


Figura 1.33.- PROBETA DE DOBLADO

CAPITULO II

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

II.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Este procedimiento experimental se llevó a cabo con la intención de elaborar y evaluar un procedimiento de soldadura en tuberías de acero aleado 9Cr-1Mo; tuberías altamente utilizadas en las plantas químicas y petroquímicas del país.

Con la calificación del procedimiento de soldadura queda automáticamente calificado el soldador, el cual posee una amplia experiencia en el ramo pero no está calificado para realizar uniones en este tipo de aceros.

El diagrama de pasos seguidos para alcanzar este propósito se consigue a continuación.

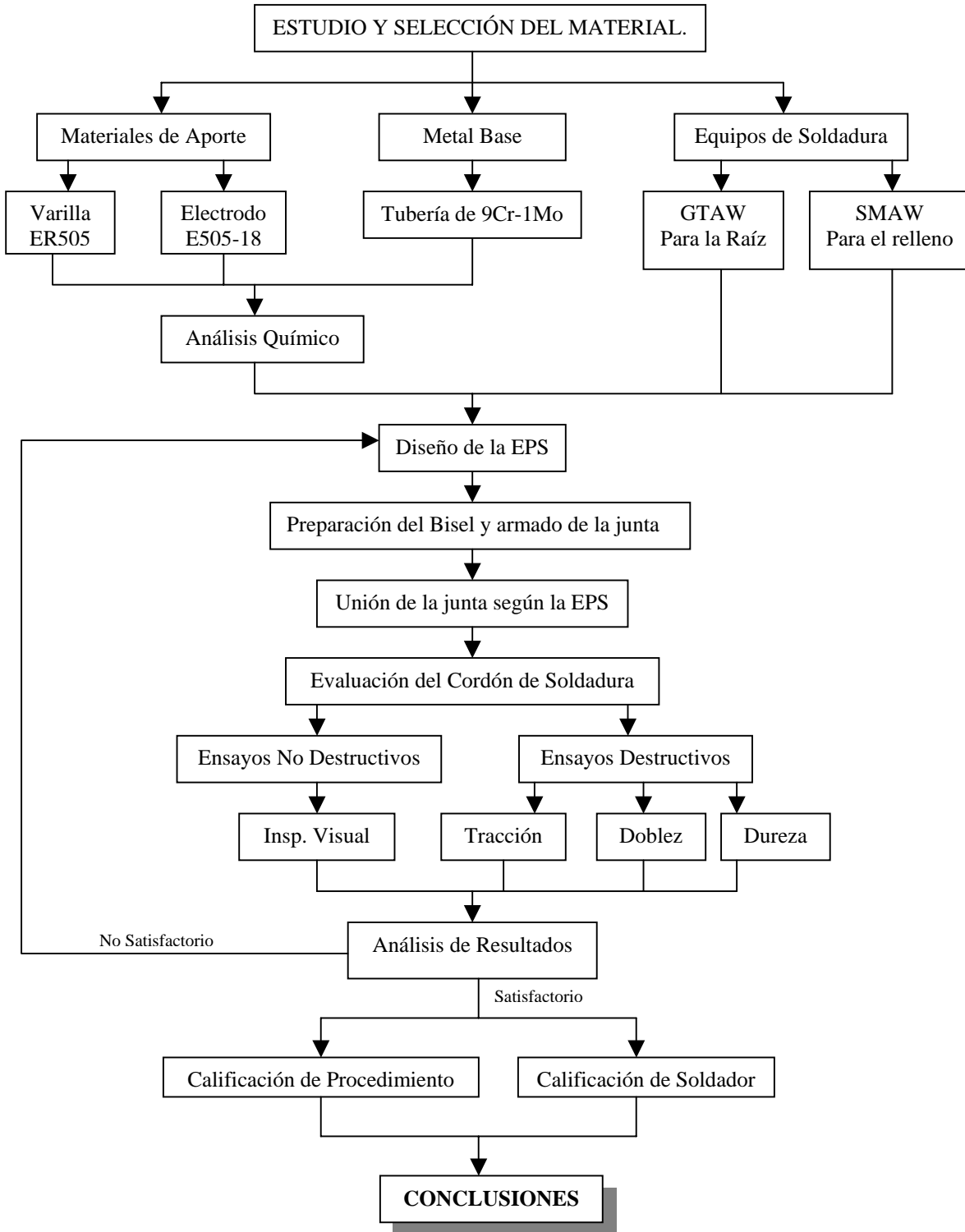


Diagrama: PASOS SEGUIDOS PARA LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO

II.1.- ELABORACIÓN DE LOS FORMATOS.

Los formatos utilizados para la Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPS), el Registro de Calificación de Procedimiento (RCP) y la Calificación del Desempeño del Soldador (CDS) fueron diseñados basándose en las necesidades de la empresa y siguiendo las recomendaciones dadas en la Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾. Los formatos finales, así como una breve explicación de sus partes, se consiguen a continuación.

II.1.1.- FORMATO DE LA EPS.

Parte A-1 : En el margen superior izquierdo se observa claramente el logotipo y nombre de la empresa. Seguidamente se identifica la división de esta en la cual aplican los procedimientos. Mas abajo se enumera el procedimiento, esta identificación consta de dos letras “Pz” las cuales indican que es una EPS realizada y avalada por la empresa, le siguen tres números los cuales indican el número de serie que se le dará a la EPS según se han ido elaborando. Igualmente se indica el RCP que acompaña dicho procedimiento, así como la última revisión, quien la realizó y quien la aprobó. Por último conseguimos indicado el o los procedimientos utilizados, en orden ascendente (desde el pase de raíz hasta los de relleno o pase final), así como el tipo (manual, automático o semiautomático).

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

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

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

Parte A-5: Aclara la Posición de Soldeo, el Pre calentamiento (en caso de necesitarlo) y el Tratamiento Térmico (en caso de requerirlo). El primer cuadro se refiere a la posición y tipo de avance en que se debe ejecutar la soldadura. El segundo cuadro

expresa las condiciones a las cuales se debe realizar el precalentamiento. El tercer y último cuadro indica las variables a controlar a la hora de realizar el tratamiento térmico.

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

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

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

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


	Petrozuata - Upgrader					
	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)					
EPS N°.		Rev:		Realizado por:		
Soportado por RCP N°.		Fecha:		Aprobado por:		
Proceso(s) de Soldadura:			Tipo(s):			
JUNTA (QW-402)						
Diseño de la Junta: _____						
Respaldo: Si: _____ No: _____						
Material de respaldo:						
Metal: _____						
Metal no fundible: _____						
Material no metálico: _____ Otro: _____						
METAL BASE (QW-403)						
P-N°. _____ Grupo N°. _____ a P-N°. _____ Grupo N°. _____ Especificación: _____						
a Especificación: _____						
Rango de espesores: Tope: _____ Filete: _____						
Rango de Diámetros de Tubería: Tope: _____ Filete: _____						
Otros: _____						
METAL DE APORTE (QW-404)						
		1°	2°	3°	Otras	
Especificación (SFA). No:						
Clasificación AWS. No:						
F-No.						
A-No.						
Diámetro del metal de aporte:						
Metal de aporte.	Rango de espesores	Tope	Filete			
Otros:						
POSICIÓN (QW-405)		PRECALENTAMIENTO (QW-406)		TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407)		
Posición de la junta a Tope: _____		Temp. min. de Precalentamiento: _____		Rango de Temp.: _____		
Avance del cordón: Sup. _____ Inf. _____		Temp. max. entre pases: _____		Rango de Tiempo: _____		
Posición de la junta a Filete: _____		Precalentamiento mantenido: Si: _____ No: _____				
GAS DE PROTECCIÓN (QW-408)		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)				
Composición		Corriente: AC _____ DC _____ Polaridad: _____				
	Gas	Mezcla	Flujo	Amps (Rango): _____ Volts (Rango): _____		
Del cordón				Tipo y tamaño del electrodó de Tugteno: _____		
De arrastre				Modo de transferencia de metal en GMAW: _____		
De respaldo				Rango de velocidad de alimentación del alambre: _____		
TECNICA (QW-410)						
Oscilante o de Vaivén: _____			Metodo de respaldo posterior: _____			
Limpieza inicial y entre pases: _____			Oscilación: _____			
		Metal de aporte.		Corriente.		
Pasada	Proceso	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)
						Velocidad de avance.
						Otros
Notas:						

Figura 2.1.- FORMATO DE LA PLANILLA PARA EPS.

II.1.2.- FORMATO DE EL RCP.

Primera página:

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

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

Parte B-2 : Ver las partes A-2 a la A-9 de la EPS.

Segunda página:

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

Parte B-4: Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de tracción que se utilizaron para la calificación del procedimiento, indicando claramente el número, dimensiones, esfuerzos soportados y lugar de fractura de las probetas utilizadas.

Parte B-5: Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de doblado que se utilizaron para la calificación del procedimiento, se indica el tipo de doblado y la figura según la Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾, colocando el resultado de cada prueba.

Parte B-6: Muestra toda la información necesaria sobre las pruebas de dureza que se utilizaron para la calificación del procedimiento, indicando claramente el número, dimensiones, temperatura a la cual se llevo a cabo la prueba, N° de dureza Brinell y demás variables a controlar.

Parte B-7: Es un espacio dedicado a la colocación de cualquier comentario sobre las pruebas, ya sea para la preparación de las probetas, las especificaciones de la

maquinaria a utilizar o cualquier otra variable que sea de importancia para el correcto desempeño de las pruebas.

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

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

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

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



	Petrozuata - Upgrader																																																													
	REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (RCP)																																																													
RCP N°.				Fecha:																																																										
EPS N°.																																																														
Proceso(s) de Soldadura:				Tipo(s):																																																										
JUNTA (QW-402) Diseño de la Junta: _____ Respaldo: Si: _____ No: _____ Material de respaldo: _____ Meta fundible: _____ Metal no fundible: _____ Material no metálico: _____ Otro: _____																																																														
METAL BASE (QW-403) P-Nº. _____ Grupo Nº. _____ a P-Nº. _____ Grupo Nº. _____ Especificación: _____ a Especificación: _____ Rango de espesores: _____ Tope: _____ Filete: _____ Rango de Diámetros de Tubería: _____ Tope: _____ Filete: _____ Otros: _____																																																														
METAL DE APORTE (QW-404) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 15%;">1º</th> <th style="width: 15%;">2º</th> <th style="width: 15%;">3º</th> <th style="width: 25%;">Otras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificación (SFA). No:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS. No:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Metal de aporte.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango de espesores</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tope</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>									1º	2º	3º	Otras	Especificación (SFA). No:					Clasificación AWS. No:					F-No.					A-No.					Diámetro del metal de aporte:					Metal de aporte.					Rango de espesores					Tope					Filete					Otros:				
	1º	2º	3º	Otras																																																										
Especificación (SFA). No:																																																														
Clasificación AWS. No:																																																														
F-No.																																																														
A-No.																																																														
Diámetro del metal de aporte:																																																														
Metal de aporte.																																																														
Rango de espesores																																																														
Tope																																																														
Filete																																																														
Otros:																																																														
POSICIÓN (QW-405) Posición de la junta a Tope: _____ Avance del cordón: Sup. _____ Inf. _____ Posición de la junta a Filete: _____		PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. min. de Pre calentamiento: _____ Temp. max. entre pases: _____ Pre calentamiento mantenido: Si: _____ No: _____			TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407) Rango de Temp.: _____ Rango de Tiempo: _____																																																									
GAS DE PROTECCIÓN (QW-408) Composición <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;"></th> <th style="width: 15%;">Gas</th> <th style="width: 15%;">Mezcla</th> <th style="width: 45%;">Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>De arrastre</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Gas	Mezcla	Flujo	Del cordón				De arrastre				De respaldo				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409) Corriente: AC _____ DC _____ Polaridad: _____ Amps (Rango): _____ Volts (Rango): _____ Tipo y tamaño del electrodos de Tugteno: _____ Modo de transferencia de metal en GMAW: _____ Rango de velocidad de alimentación del alambre: _____																																										
	Gas	Mezcla	Flujo																																																											
Del cordón																																																														
De arrastre																																																														
De respaldo																																																														
TECNICA (QW-410) Oscilante o de Vaivén: _____ Metodo de respaldo posterior: _____ Limpieza inicial y entre pases: _____ Oscilación: _____																																																														
		Metal de aporte.		Corriente.																																																										
Pasada	Proceso	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)	Velocidad de avance.	Otros																																																						
Notas: _____ _____ _____																																																														



Figura 2.2.- FORMATO DE LA PLANILLA PARA RCP (PRIMERA PÁGINA)

	Petrozuata - Upgrader							
	REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (RCP)							
RCP Nº.	Fecha:							
EPS Nº.								
Pruebas de Tracción (QW-150)								
Especimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (lb) [Kg]	Esfuerzo Máximo (Kg/mm ²) [PSI]	Lugar de fractura.		
Pruebas de DobleZ (QW-160)								
Tipo y Figura No.		Dimensiones		Observaciones.				
Pruebas de Dureza (QW-170)								
Probeta Nº.	Localización de la cuña.	Tamaño de la Probeta.	Temp. de la Prueba.	Valores del Impacto.			Nº de Dureza Brinell	Peso descendiente con freno (S/N)
				Ft. lbs.	% Corte	Espesor		
Comentarios: _____								
Prueba de la soldadura a Filete (QW-180)								
Resultado Satisfactorio: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>			Penetración completa: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>					
Macro-análisis: _____								
Otras Pruebas								
Tipo de prueba: _____								
Resultado del análisis: _____								
Otros: _____								
Nombre del soldador: _____ Estampa No. _____								
Inspección conducida por: _____ Laboratorio: _____								
Certificamos que las declaraciones en este expediente están correctas y que las juntas de la prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la sección IX del código de ASME.								
Fecha: _____ Por PETROZUATA, C.A. _____								

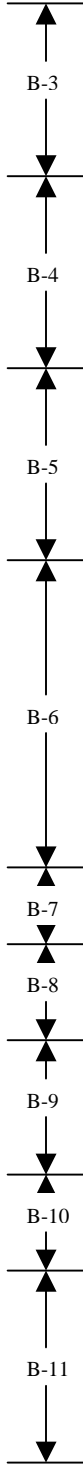


Figura 2.3.- FORMATO DE LA PLANILLA PARA RCP (SEGUNDA PÁGINA)

II.1.3.- FORMATO DE LA CDS.

Parte C-1 : En el margen superior izquierdo se observa claramente el logotipo y nombre de la empresa. Seguidamente se identifica la división de esta en la cual aplican los procedimientos. Mas abajo se enumera la Calificación, esta identificación consta de dos letras “Pz” las cuales indican que es una CDS realizada y avalada por la empresa, le siguen tres números los cuales indican el número de serie que se le dará a la CDS según se han ido elaborando. Igualmente se indica el EPS y el RCP que acompañan a dicha calificación, así como el soldador que realizo la soldadura, debidamente identificado y la fecha en la que lo realizo. Por último conseguimos indicado el o los procedimientos utilizados, en orden ascendente (desde el pase de raíz hasta los de relleno o pase final), así como el tipo (manual, automático o semiautomático).

Parte C-2: En esta parte se expresa de forma clara todas las variables manuales o semiautomáticas que se controlaron en la realización de soldadura, tanto los valores de realización (valores actuales) como los rangos que han quedado calificados mediante este procedimiento.

Parte C-3: En esta parte se expresa de forma clara todas las variables de la maquina de soldar que se controlaron en la realización de soldadura, tanto los valores de realización (valores actuales) como los rangos que han quedado calificados mediante este procedimiento.

Parte C-4: Se muestra los resultados de las pruebas de doblado realizadas para la calificación del soldador o del operador de la máquina de soldar, indicando el tipo según la Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾.

Parte C-5: Expresa el resultado de todas las demás pruebas que se le realizaron al cordón de soldadura con el fin de calificarlo, indicando igualmente quien las realizó.

Parte C-6: Indica la fecha en que quedó registrada la Calificación de Soldadores y Operadores de Máquinas de Soldar así como la persona de la empresa que lo avala.


	Petrozuata - Upgrader		
	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (CDS)		
CDS Nº.	EPS Nº.	RCP Nº.	Fecha:
Nombre del soldador/operador:		Estampa Nº.	
Proceso(s) de soldadura utilizado(s):		Tipo:	
VARIABLES MANUALES O SEMIAUTOMATICAS DE CADA PROCESO (QW-350)			
	Valores Actuales	Rango Calificado	
Respaldo (metal, metal soldado, soldadura por ambas caras, flux, etc.):	_____	_____	
ASME P-Nº _____ a ASME P-Nº (QW-402):	_____	_____	
[] Chapa [] Tubo (Indicar diametro en caso de ser tubería):	_____	_____	
Espesor:	_____	_____	
Especificación del metal de aporte (SFA): _____ Clasificación (QW-404)	_____	_____	
Metal de aporte F-Nº:	_____	_____	
Variedad del metal de aporte para GTAW, PAW (QW-404):	_____	_____	
Consumible para GTAW o PAW:	_____	_____	
Espesor depositado por cada proceso de soldadura:	_____	_____	
Posiciones de soldeo (1G, 5G, etc.) (QW-405):	_____	_____	
Progresión (Ascendente / descendente):	_____	_____	
Gas de protección para GTAW, PAW, o GMAW; gas combustible para OFW (QW-408):	_____	_____	
Modo de transferencia para GTAW (QW-409):	_____	_____	
Tipo y polaridad de la corriente para GTAW:	_____	_____	
VARIABLES DE LA MÁQUINA DE SOLDAR PARA CADA PROCESO USADO (QW-360)			
	Valores Actuales	Rango Calificado	
Control visual directo o remotol:	_____	_____	
Control automático de voltage (GTAW):	_____	_____	
Seguimiento automático de la junta:	_____	_____	
Posición de soldeo (1G, 5G, etc.):	_____	_____	
Consumible:	_____	_____	
Respaldo (metal, metal soldado, soldadura por ambas caras, flux, etc.):	_____	_____	
GUÍA DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DOBLADO			
Tipo	QW-462.2 (Lado) Resultado	QW-462.3.a (Trans. R y C) Resultado	QW-462.3.b (Long. R y C) Resultado
Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4): _____			
Resultado de la Prueba Radiográfica (QW-304 y QW-305): _____			
Soldadura a filete: [] Prueba de fractura: _____			
Longitud y % de defectos: _____			
Examen metalográfico: _____			
Concavidad / Convexidad (pulg.): _____			
Inspecciones de la soldadura conducido por: _____			
Pruebas Mecánicas conducidas por: _____			
Certificamos que las declaraciones en este expediente están correctas y que las juntas de la prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la sección IX del código de ASME			
Fecha: _____		Por PETROZUATA, C.A. _____	

Figura 2.4.- FORMATO DE LA PLANILLA PARA CDS.

II.2.- ELABORACIÓN DE LA EPS.

Para la elaboración de la EPS se tomaron en cuenta primeramente las variables esenciales y esenciales suplementarias de cada proceso de soldadura así como la del soldador, seguidamente se recolectó la información necesaria de las normas y recomendaciones para soldaduras de tuberías de Acero 9Cr-1Mo.

La información contenida en esta especificación se explica siguiendo las pautas indicadas en el punto II.1.1 de este trabajo.

Parte A-1: Como se explico con anterioridad, en esta parte queda bien identificado la empresa y departamento de ella en la cual aplica el procedimiento. Igualmente se indica el número de procedimiento (Pz-008) Pz indicando que es un EPS de Petrozuata y (008) identifica al procedimiento en una serie de EPS propios de la empresa. También se identifica el RCP en el cual se soporta este procedimiento de soldadura. Seguidamente se indica si se le ha realizado alguna revisión (Rev.0 indica que no se ha realizado ninguna) y la fecha en que quedó realizada esta EPS, siendo en nuestro caso el día 18 de Septiembre de 2002. Por último se muestra mi nombre, esto por haber sido yo quien elaboró esta especificación de procedimiento y el nombre de quien lo aprobó, siendo para nuestros efectos el Ing. Rafael Rengifo, ingeniero calificado por la AWS con el credencial CWI N°99101051. Mas abajo se indican los procesos de soldadura que se utilizaran y su tipo , siendo en nuestro caso el GTAW y el SMAW, ambos manualmente.

Parte A-2: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-402⁽¹⁰⁾, el cual indica como se debe realizar la junta. Tomando como modelo una junta simple en V sin respaldo y permitiendo una separación máxima de raíz de la mitad del espesor y un ángulo de bisel no mayor de 37.5°.

Parte A-3: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-403⁽¹⁰⁾. Para realizar la junta se tomó una tubería designada por la ASTM como SA335-P9, comercialmente mas conocida como 9Cromo-1Molibdeno, Esta pertenece al Número P 5B y al Número de Grupo 1. Se escogió una tubería de diámetro 30,48 cm (12 pulg.) y un espesor de STD “Standard 9,525 mm (0,375 pulg)”, mediante el cual se abarcan tuberías de diámetros mayores de 6,35 cm (2,5 pulg) y espesores desde 1.5875 mm hasta 19.05 mm (1/16 hasta ¾ de pulg). Esto es lo estipulado en el Código ASME, Sección IX, QW-450⁽¹⁰⁾.

Parte A-4: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-404⁽¹⁰⁾. Para realizar la unión se utilizaron dos procesos de soldadura el GTAW para los dos primeros pases de raíz y el SMAW para los pases de relleno. Con esto se

espera obtener una buena penetración, propiedades mecánicas superiores en la raíz, velocidad adecuada en la culminación del trabajo y uniones a costos moderados, entre muchas otras ventajas que se logran al realizar una juntas con dos procesos de soldadura diferentes.

La varilla para soldar con el proceso GTAW se escogió siguiendo las recomendaciones del Código ASME, Sección II, Parte C⁽⁷⁾, especificación SFA 5-28; A7.14, la cual indica que la varilla para soldar ER80S-B8, contiene de 8 a 10 % de Cromo y 1% de Molibdeno por lo cual es ideal para ser utilizada en tuberías de aceros al 9Cr-1Mo. También indica que este acero es de fácil endurecimiento por lo que requiere precalentamiento y tratamiento térmico de alivio de tensiones cuando se suelda con este material de aporte. Este material de aporte es comercialmente mas conocido como ER505 igualmente descrito en este Código. El Número F es el 6, el Número A es el 5, estos se obtienen, respectivamente, de las especificaciones QW-432 y QW-442 del Código ASME, Sección IX⁽¹⁰⁾. Se utilizo una varilla de diámetro 1/16”.

El electrodo revestido para soldar con el proceso SMAW se escogió siguiendo las recomendaciones del Código ASME, Sección II, Parte C⁽⁷⁾, especificación SFA 5-5; A.7.1.2 y Tabla A3, las cual indican que el electrodo revestido para soldar E8018-B8 es el ideal para realizar soldaduras de tuberías de Acero al 9Cr-1Mo, ya que contiene cantidades cercanas a 9% de Cromo y al 1% de Molibdeno. Este material de aporte es comercialmente conocido como E505-18 igualmente descrito en este Código. Igualmente que para la varilla, este código indica que cuando se suelda con este material de aporte se debe realizar precalentamiento y tratamiento térmico de alivio de tensiones. El Número F es el 4, el Número A es el 5, estos se obtienen, respectivamente, de las especificaciones QW-432 y QW-442 del Código ASME, Sección IX⁽¹⁰⁾. Se utilizo un electrodo de diámetro 1/8”.

Parte A-5: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-405, QW-406 y QW-407⁽¹⁰⁾ respectivas a Posición de soldeo, Precalentamiento y Tratamiento Térmico respectivamente.

Para la realización de la junta soldada se escogió que el soldador la ejecutara en la posición 6G, dado que con la utilización de esta posición se logra calificar tanto el procedimiento como al soldador en todas las demás posiciones. Esto se debe a que para la posición 6G el tubo a soldar tiene que estar inclinado aproximadamente 45° con respecto a la horizontal, al estar así, el soldador debe realizar soldadura sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente y plana. La figura 2.5 muestra la secuencia seguida en la junta.

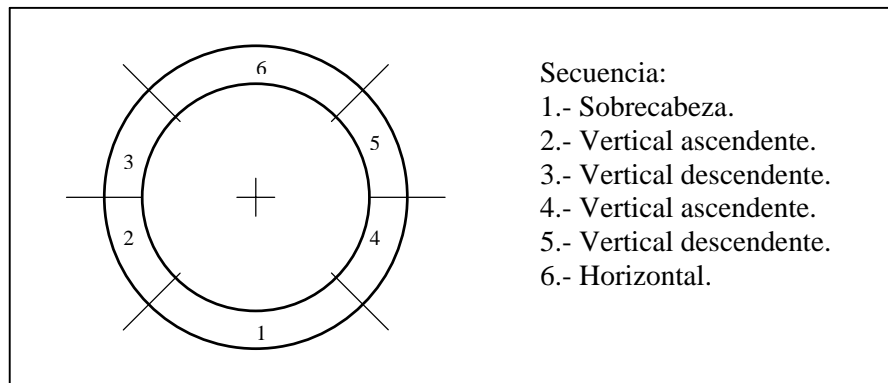


Figura 2.5.- SECUENCIA DE AVANCE DE LA UNIÓN SOLDADA

La temperatura y condiciones del precalentamiento a utilizar son las expresadas en el Código ASME, Sección B31.3⁽¹¹⁾. El cual indica que el metal debe alcanzar una temperatura comprendida entre 177 y 232°C (350 y 450°F). Estos valores respetan las exigencias mencionadas en la Tabla 330.1.

Las variables límites que a controlar en la realización del tratamiento térmico de alivio de tensiones son las expresadas en la Tabla 331.1.1 del Código ASME, Sección B31.3⁽¹¹⁾. El cual indica que el metal debe alcanzar una temperatura en el rango de 704 a 760°C (1300 a 1400°F), y ser mantenida por un tiempo mínimo de dos horas. La curva de enfriamiento y calentamiento que a seguir se obtuvo del procedimiento PI-INS-020 “Alivio Térmico de Soldaduras”⁽⁹⁾, procedimiento propio de Petrozuata C.A. El cual expresa que la velocidad de enfriamiento deberá ser uniforme, sin control específico de la velocidad hasta 427°C (800°F). Sobre esta temperatura la velocidad de calentamiento no deberá exceder de 205 °C/Hr (400°F/Hr). Con respecto a la velocidad de enfriamiento este procedimiento indica que sobre los 427°C (800°F) esta velocidad no debe ser mayor de 260 °C/Hr (500°F/Hr). Por debajo de esta velocidad el enfriamiento deberá ser uniforme, sin control específico de la velocidad. El aislamiento podrá ser removido una vez alcanzados los 316°C (600°F).

Parte A-6: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-408 y QW-409⁽¹⁰⁾, respectivas al Gas de protección y a las Características Eléctricas

El proceso de soldadura GTAW requiere de protección gaseosa; el Código ASME, Sección II, Parte C⁽⁷⁾, especificación SFA-5.28 en la Tabla 3 indica que la varilla ER80S-B8 requiere de una mezcla de Argón / oxígeno, con una cantidad de este último comprendida entre 1 y 5 %.

Las características eléctricas dependen de cada proceso, electrodo y material de aporte utilizado. El Proceso GTAW se debe utilizar en Corriente Directa con el electrodo conectado al Polo Negativo, con un amperaje en el rango de 70 a 150 amp. y un voltaje entre 20 y 30 Volt; el electrodo de Tungsteno debe ser acorde con material de aporte, se escogió el EWTh-2 de 1/16 pulg de diámetro, este electrodo está aleado con Óxido de Torio. El Proceso SMAW se utilizó en Corriente Directa con el electrodo conectado al Polo Positivo, con un amperaje en el rango de 115 a 165 amp. y un voltaje entre 20 y 30 Volt.

Parte A-7: Se siguieron las pautas indicadas en el Código ASME, Sección IX, QW-410⁽¹⁰⁾. Las técnicas de soldeo depende de la habilidad del soldador. La máxima oscilación permitida debe ser de tres veces el diámetro del electrodo, esta es una variable ampliamente recomendada, al igual que realizar una buena limpieza del metal base, realizándola hasta una distancia de 2,54 cm (1 pulg) lateral a la junta.

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

Parte A-9: Entre las observaciones se colocaron puntos importantes como por ejemplo, problemas anteriores que ha tenido la empresa a la hora de soldar tuberías al Cr-Mo, inspecciones a realizar por los mismos soldadores, etc.

A continuación se muestra la EPS (figura 2.6) diseñada para la realización de las pruebas y ensayos, con el fin de su calificación.


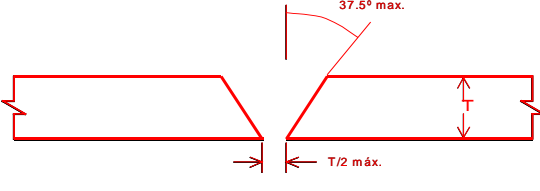
		Petrozuata - Upgrader ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)																																																					
		EPS N°.	Pz-008	Rev:	Realizado por:																																																		
		Soportado por RCP N°.	Pz-008	Fecha:	18-Septiembre-2.002																																																		
				Aprobado por:	Rafael Rengifo																																																		
		Proceso(s) de Soldadura:		GTAW / SMAW																																																			
				Tipo(s): MANUAL																																																			
JUNTA (QW-402) Diseño de la Junta: <u>Ranura simple en "V" o Filete</u> Respaldo: Si: <u> </u> No: <u>x</u> Material de respaldo: Metal: <u>N/A</u> Metal no fundible: <u>N/A</u> Material no metálico: <u>N/A</u> Otro: <u> </u>																																																							
METAL BASE (QW-403) P-Nº. <u>5B</u> Grupo Nº. <u>1</u> a P-Nº. <u>5B</u> Grupo Nº. <u>1</u> Especificación: <u>ASTM SA335-P9</u> a Especificación: <u>ASTM SA335-P9</u> Rango de espesores: Tope: <u>1/16" to 3/4"</u> Filete: <u>1/16" to 3/4"</u> Rango de Diámetros de Tubería: Tope: <u>Mayores de 2.1/2"</u> Filete: <u>Todos</u> Otros: <u> </u>																																																							
METAL DE APORTE (QW-404) <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1º</th> <th>2º</th> <th>3º</th> <th>Otras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificación (SFA). No:</td> <td>5.28</td> <td>5.28</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> </tr> <tr> <td>Clasificación AWS. No:</td> <td>ER505</td> <td>ER505</td> <td>E505-18</td> <td>E505-18</td> </tr> <tr> <td>F-No.</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>A-No.</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td>1/16"</td> <td>1/16"</td> <td>1/8"</td> <td>1/8"</td> </tr> <tr> <td>Metal de aporte.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango de espesores</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tope Filete</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							1º	2º	3º	Otras	Especificación (SFA). No:	5.28	5.28	5.5	5.5	Clasificación AWS. No:	ER505	ER505	E505-18	E505-18	F-No.	6	6	4	4	A-No.	5	5	5	5	Diámetro del metal de aporte:	1/16"	1/16"	1/8"	1/8"	Metal de aporte.					Rango de espesores					Tope Filete					Otros:				
	1º	2º	3º	Otras																																																			
Especificación (SFA). No:	5.28	5.28	5.5	5.5																																																			
Clasificación AWS. No:	ER505	ER505	E505-18	E505-18																																																			
F-No.	6	6	4	4																																																			
A-No.	5	5	5	5																																																			
Diámetro del metal de aporte:	1/16"	1/16"	1/8"	1/8"																																																			
Metal de aporte.																																																							
Rango de espesores																																																							
Tope Filete																																																							
Otros:																																																							
POSICIÓN (QW-405) Posición de la junta a Tope: <u>Todos</u> Avance del cordón: Sup. <u>x</u> Inf. <u> </u> Posición de la junta a Filete: <u>Todos</u>		PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. min. de Precalentamiento: <u>230°C (450°F)</u> Temp. max. entre pases: <u>230°C (450°F)</u> Precalentamiento mantenido: Si: <u>x</u> No: <u> </u>		TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407) Rango de Temp.: <u>Ver Nota.</u> Rango de Tiempo: <u> </u>																																																			
GAS DE PROTECCIÓN (QW-408) Composición <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td>Ar/O₂</td> <td>97/3%</td> <td>18-24cfh</td> </tr> <tr> <td>De arrastre</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td>Ar/O₂</td> <td>97/3%</td> <td>5-6 cfh</td> </tr> </tbody> </table>			Gas	Mezcla	Flujo	Del cordón	Ar/O ₂	97/3%	18-24cfh	De arrastre				De respaldo	Ar/O ₂	97/3%	5-6 cfh	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409) Corriente: AC <u> </u> DC <u>x</u> Polaridad: <u>GTAW(DCEN) / SMAW(DCEP)</u> Amps (Rango): <u>70-165</u> Volts (Rango): <u>20-30</u> Tipo y tamaño del electrodo de Tugteno: <u>EW Th-2</u> Modo de transferencia de metal en GMAW: <u>N/A</u> Rango de velocidad de alimentación del alambre: <u>N/A</u>																																					
	Gas	Mezcla	Flujo																																																				
Del cordón	Ar/O ₂	97/3%	18-24cfh																																																				
De arrastre																																																							
De respaldo	Ar/O ₂	97/3%	5-6 cfh																																																				
TECNICA (QW-410) Oscilante o de Vaivén: <u>Cualquiera</u> Metodo de respaldo posterior: <u>N/A</u> Limpieza inicial y entre pases: <u>Limpiar con cepillo de Acero Inoxidable hasta 1" lateral a la junta.</u> Oscilación: <u>Máximo tres veces el diámetro del electrodo.</u>																																																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pasada</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte.</th> <th colspan="3">Corriente.</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance.</th> <th rowspan="2">Otros</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amp. (Rango)</th> <th>Volt. (Rango)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1º</td> <td>GTAW</td> <td>ER505</td> <td>1/16"</td> <td>DC(-)</td> <td>70-150</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2º</td> <td>GTAW</td> <td>ER505</td> <td>1/16"</td> <td>DC(-)</td> <td>70-150</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3º</td> <td>SMAW</td> <td>E505-18</td> <td>1/8"</td> <td>DC(+)</td> <td>115-165</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otras</td> <td>SMAW</td> <td>E505-18</td> <td>1/8"</td> <td>DC(+)</td> <td>115-165</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Pasada	Proceso	Metal de aporte.		Corriente.			Velocidad de avance.	Otros	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)	1º	GTAW	ER505	1/16"	DC(-)	70-150	20-30			2º	GTAW	ER505	1/16"	DC(-)	70-150	20-30			3º	SMAW	E505-18	1/8"	DC(+)	115-165	20-30			Otras	SMAW	E505-18	1/8"	DC(+)	115-165	20-30		
Pasada	Proceso	Metal de aporte.		Corriente.				Velocidad de avance.	Otros																																														
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)																																																	
1º	GTAW	ER505	1/16"	DC(-)	70-150	20-30																																																	
2º	GTAW	ER505	1/16"	DC(-)	70-150	20-30																																																	
3º	SMAW	E505-18	1/8"	DC(+)	115-165	20-30																																																	
Otras	SMAW	E505-18	1/8"	DC(+)	115-165	20-30																																																	
Notas: <ol style="list-style-type: none"> No usar Marcadores para tuberías con mas de 50ppm de cloruros. Entre ellos lo de la marca Nissen. La junta se debe limpiar antes de cada pasada. Cuando se complete el cordón se debe retirar toda la escoria y la protección. Usar Cepillo de Acero Inoxidable y Piedras Abrasivas que no se hallan usado con anterioridad en otros metales. El precalentamiento se debe mantener mientras se corta, se puntea o se suelda la junta. Tratamiento Térmico: Calentamiento libre hasta 800°F. Continuar calentamiento a 400°F/Hr. hasta 1350°F. Mantener a 1350°F por dos hora. Enfriar a 500°F/Hr. hasta 800°F. Continuar con enfriamiento libre hasta la temperatura ambiente. Calentar hasta 2.1/2" laterales a la junta. Criterio de Aceptación: 5.1. PT: Inaceptable: Indicaciones Relevantes (Indicaciones con dimensiones mayores a 1/16" o una indicación que sea tres veces mas larga que ancha); Circunferencias Relevantes (Indicaciones de apariencia circular o eliptica de dimensiones iguales o menores de tres veces su espesor) mayores de 3/4"; Cuatro o más Indicaciones Circulares Relevantes que se encuentren en una misma línea separadas por 1/16" o menos (borde a borde). 5.2. VT: Inaceptable: grietas, falta de fusión, penetración incompleta, inclusiones de escoria ni una socabadura mayor de 1/32" y T/4. Dureza máxima 241BHN. 																																																							

Figura 2.6.- PLANILLA DE LA ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

II.3.- CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

Tanto para la Calificación del Procedimiento de Soldadura como para la Calificación del Desempeño del Soldador fue necesario la realización de una unión soldada siguiendo las especificaciones dadas en la EPS y luego seccionar este cupón de prueba con el fin de obtener las diferentes probetas.

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

II.3.1.- ANÁLISIS QUÍMICO.

Una vez obtenida la tubería de acero 9Cr-1Mo en la que realizaríamos la soldadura, se procedió a verificar que en realidad se tratara de la ASTM SA335-P9, esto se logró mediante un sencillo análisis de su aleación. Igualmente se verificaron los materiales de aporte.

El análisis químico de los materiales base y materiales de aporte fue realizado siguiendo el procedimiento PETROZUATA: PI-INS-009 “*Identificación positiva de materiales*”⁽¹²⁾, utilizando un Analizador de aleaciones Marca: NITON, Modelo: XRF Serie 800. Este equipo portátil de análisis de composición de aleaciones de acero utiliza una fuente radioatómica para proyectar radiaciones a la aleación en cuestión, estos rayos se proyectan hacia el equipo, el cual analiza el espectro reflejado y arroja como resultado tanto el análisis químico como la designación del acero, en caso de que esté registrado en su base de datos.

Para ejecutar el análisis fue necesario realizar la limpieza de una zona de 1,27 cm (0,5 pulg) de ancho por 3,81 cm (1,5 pulg) de largo de los metales base y para el análisis de los materiales de aporte fue necesario unir de manera mecánica los suficientes electrodos como para lograr una superficie de aproximadamente las mismas dimensiones descritas para el metal base, luego se procedió a esmerilar una de las zonas terminales con el fin de lograr una superficie uniforme y posteriormente poder analizarlas con una amplia confiabilidad.

Se siguieron minuciosamente las advertencias del fabricante para el operador de este equipo ya que la radiación emitida por el cabezal puede ser riesgoza para la salud dado que utiliza dos fuentes de radioisótopos, el Cd-109 y el Fe-55.

Igualmente se tomaron en cuenta las máquinas operativas del lugar y sus cercanías, puesto que algunos tipos de radiación pueden causar errores de fondo en el analizador de aleaciones.

II.3.2.- PREPARACIÓN DEL METAL BASE.

Se extrajeron dos tramos de 7 pulgadas de longitud de un tubo de acero al 9Cr-1Mo de 30,48 cm (12 pulg) de diámetro y un espesor STD: 9,525 mm (0.375"). Estos tramos se biselaron a 37,5 grados en un torno, posteriormente se realizó la limpieza de los bordes a soldar hasta una distancia de 2,54 cm (1 pulg) de longitud medidos desde el bisel hacia la zona basta de la tubería. Esta limpieza se llevó a cabo mediante un esmeril y un cepillo de alambre.

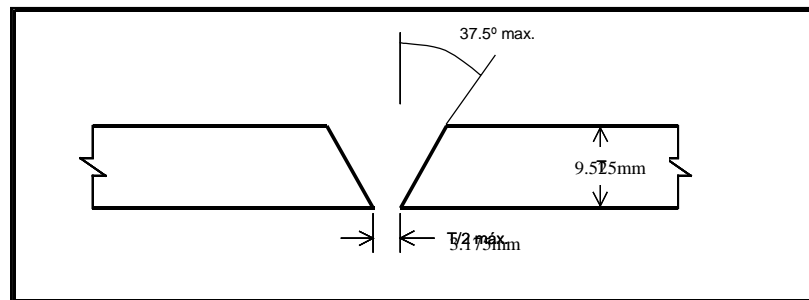


Figura 2.7.- DISEÑO DE LA JUNTA

El punteo se realizó mediante cuatro placas laterales, dejando la zona de unión libre en todo momento. La pieza se colocó en posición 6G como se aprecia en la figura 2.8.

Antes de empezar con el proceso de soldadura las piezas de los metales bases se precalentaron hasta los 230°C (450°F). Se utilizó un soplete como fuente de calor y un marcador térmico como instrumento de medición de temperatura. Como se observa en la figura 2.9.



Figura 2.8.- ARMADO DE LA PIEZA.

II.3.3.- PROCESO DE SOLDADURA GTAW.

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

II.3.3.1.- Corriente y Polaridad:

Se uso corriente directa (DC) con el electrodo de tungsteno conectado al polo negativo (polaridad negativa); esto hace que la generación de calor en el electrodo sea menor, incrementando la duración del mismo y reduciendo la contaminación con tungsteno en la soldadura sin reducir la penetración.

Para aceros de baja aleación, como es el caso, la corriente requerida por milímetro de espesor es de 30 a 40 Amp. Para el material y espesor utilizado, se trabajo con un intervalo de corriente de 70 a 150 Amp.



Figura 2.9.- PROCESO DE SOLDADURA GTAW

II.3.3.2.- Electrodo de Tungsteno:

Se utilizó un electrodo de tungsteno toriado (EW-Th2) cuyo diámetro fue de 1/16" operativo en un intervalo de corriente entre 70 y 150 Amp. La punta de los electrodos de tungsteno se amoló de forma que su longitud fuera dos veces su diámetro, eliminando la parte filosa de la punta, tal como se muestra en la figura 2.10.

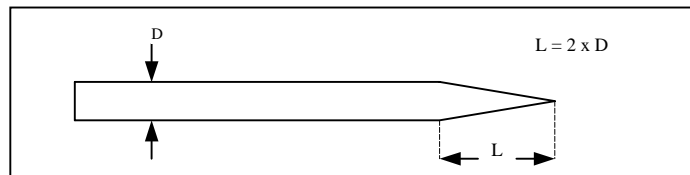


Figura 2.10.- PUNTA DEL ELECTRODO DE TUNSTENO

II.3.3.3.- Material de Aporte:

El material de aporte se escogió para la soldadura de tuberías de acero aleado a 9Cr-1Mo la varilla para soldar ER505, de 1/16" de diámetro.

II.3.3.4.- Protección Gaseosa:

El gas de protección fue la mezcla 97% Argón – 3% Oxígeno. Se protegió tanto el cordón como el respaldo. El cordón se protegió mediante el flujo de 0.5 a 0.7 m³/Hr (18 a 24 cfh) por la parte frontal y el respaldo se logró purgando la tubería y manteniendo un flujo constante de entre 0.14 y 0.17 m³/Hr (5 y 6 cfh).

II.3.3.5.-Temperatura entre pases:

Se mantuvo, como mínimo, la misma temperatura que la de precalentamiento durante todo el proceso de soldadura. La fuente de calor fue un soplete y, al igual que en el precalentamiento, las mediciones de temperatura se realizaron mediante un marcador térmico.



Figura 2.11.- MANTENIMIENTO DE LA TEMPERATURA ENTRE PASES

II.3.4.- PROCESO DE SOLDADURA SMAW.

Este proceso se utilizó para realizar los pases de relleno por su mayor tasa de deposición de material y su mayor velocidad, se siguieron las variables descritas a continuación.



Figura 2.12.- PROCESO DE SOLDADURA SMAW

II.3.4.1.- Corriente y Polaridad:

Se utilizó corriente directa (DC) con polaridad positiva, con un intervalo de corriente entre 115 y 165 Amp.

II.3.4.2.- Material de Aporte:

Se utilizó el electrodo E505-18, de 1/8" de diámetro, siguiendo las recomendaciones del Código ASME, Sección II, Parte C⁽⁷⁾.

II.3.4.3.- Temperatura entre pases:

Se realizó del mismo modo que en la soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible (GTAW).

II.3.5.- TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA.

El tratamiento térmico posterior a la soldadura se realizó con la finalidad de reducir al máximo las tensiones producidas por este proceso. La fuente de calor fue una resistencia eléctrica en forma de malla controlada por una pequeña computadora que registra las temperaturas indicadas por un par de termoculas. Esta resistencia eléctrica se envolvió en una chaqueta de lana vegetal con la intención de tener un mejor control de la temperatura y una menor tasa de enfriamiento en la etapa libre. Las temperaturas alcanzadas fueron las indicadas en la EPS. Se siguieron las recomendaciones y se logró elevar la temperatura a una tasa de $2.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ($36^{\circ}\text{F}/\text{min}$) hasta alcanzar los 427°C (800°F). Posteriormente se calentó a $204^{\circ}\text{C}/\text{Hr.}$ ($400^{\circ}\text{F}/\text{hr}$) hasta que alcanzó los 732°C (1350°F) y se mantuvo a esa temperatura por dos horas. En la etapa de enfriamiento se permitió la disminución de temperatura a razón de $260^{\circ}\text{C}/\text{Hr.}$ ($500^{\circ}\text{F}/\text{hr}$) hasta que alcanzó los 427°C (800°F). Seguidamente se apagó el equipo de tratamientos térmicos y se dejó enfriar libremente, controlando este enfriamiento con una chaqueta de lana vegetal.

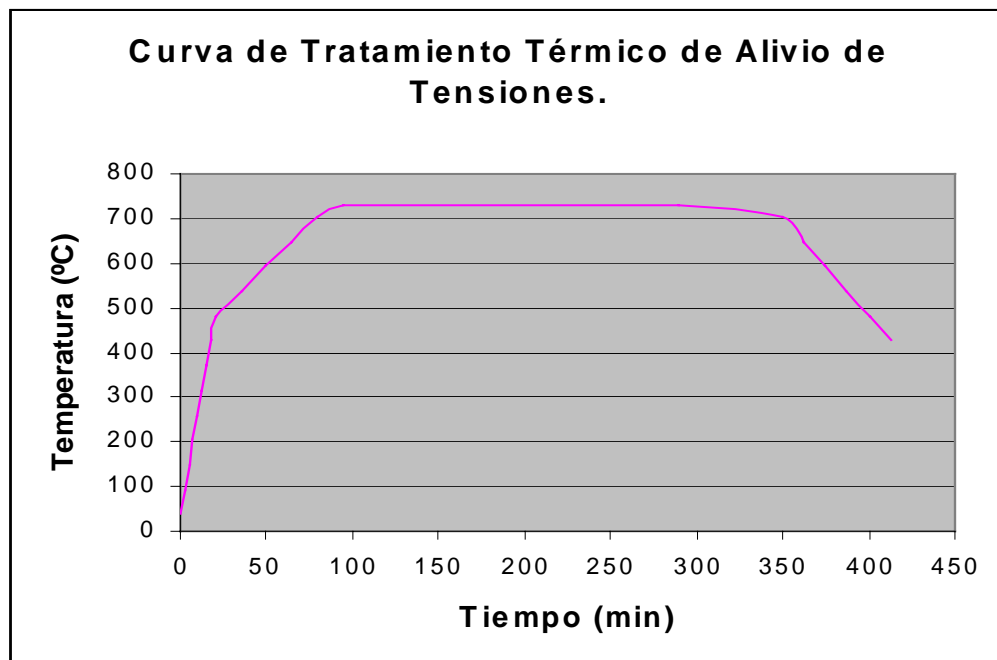


Gráfico 2.1



Figura 2.13.- ETAPA DE ENFRIAMIENTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSIONES.

II.3.6.- EXTRACCIÓN Y DIMENSIONES DE LAS PROBETAS.

Se extrajeron dos probetas para los ensayos a tracción y cuatro para los ensayos de doblado, como lo recomienda la Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾.

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

En la figura 2.14 se presentan las zonas de extracción de los cupones y su forma final.

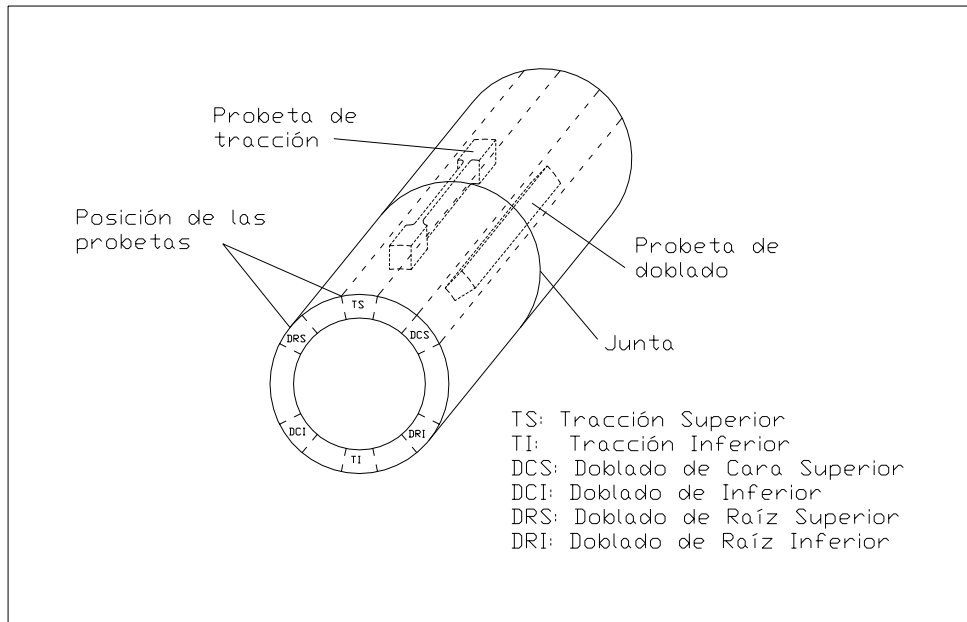


Figura 2.14.- ZONAS DE EXTRACCIÓN DE LOS CUPONES



Figura 2.15.- CORTE DE LAS TUBERÍAS PARA LA EXTRACCIÓN DELAS PROBETAS

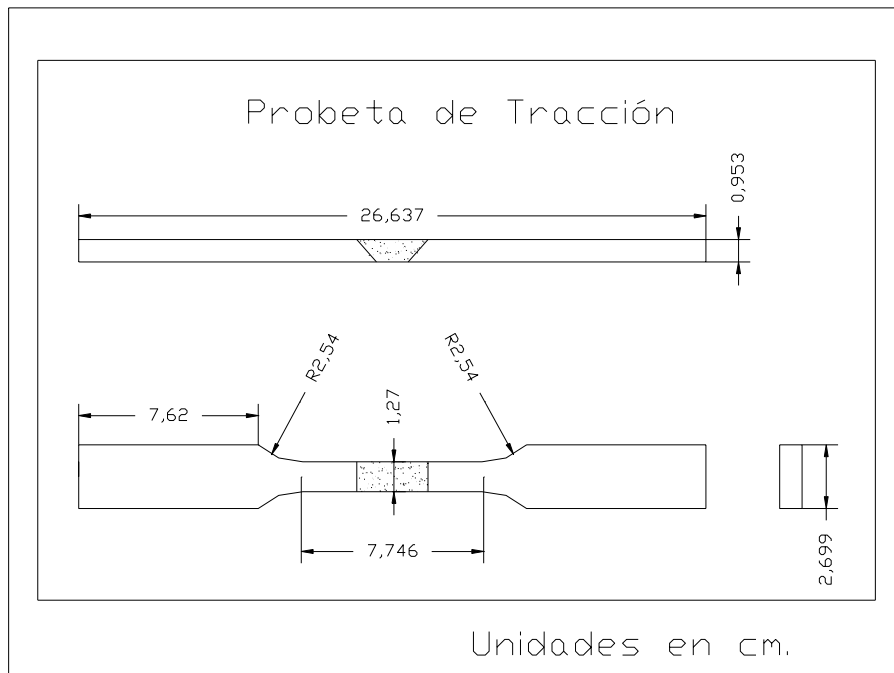


Figura 2.16.- PROBETAS DE TRACCIÓN

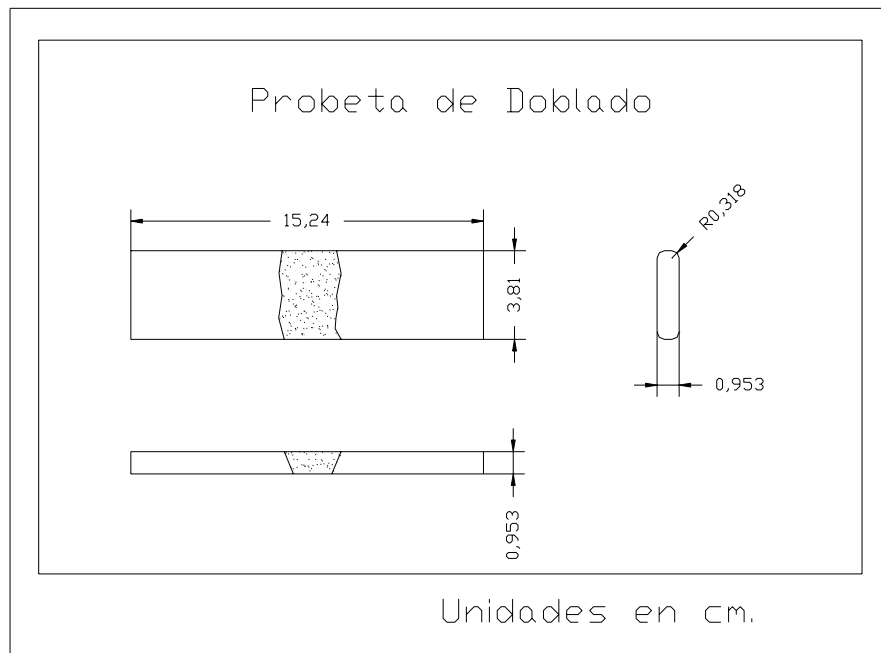


Figura 2.17.- PROBETAS DE DOBLADO

II.4.- APLICACIÓN DE LAS INSPECCIONES Y ENSAYOS.

Las inspecciones y ensayos destructivos se realizaron con la finalidad de evaluar tanto las dimensiones iniciales de la junta, la calidad de cada pase de soldadura, las condiciones finales de la unión soldada como sus propiedades mecánicas. Todo esto con el propósito de realizar la calificación del procedimiento de soldadura y por ende la calificación del soldador.

La inspección visual y el ensayo de dureza Brinell se realizaron en las instalaciones de la empresa por personal calificado y certificado por AWS para la realización de este tipo de inspección. Los ensayos de tracción y de doblado se llevaron a cabo en la empresa ASMECA ORIENTE C.A., laboratorio ubicado en la ciudad de Puerto la Cruz, dedicado a la realización de gran cantidad de pruebas y ensayos a probetas entregadas por las empresas petroleras de la zona oriental del país.

II.4.1.- INSPECCIÓN VISUAL.

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

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

El criterio utilizado para la evaluación de la junta soldadas es el perteneciente al Código ASME, Sección II, Parte C, Tabla 341.3.2⁽⁷⁾ específicamente en la zona indicada para soldaduras de tuberías que transporten fluidos en Condiciones de Ciclo Severo (Severe Cyclic Conditions).

En la figura 2.18 se muestra como el soldador realiza la inspección visual entre pases a la vez que mantiene la temperatura adecuada para seguir con la unión.



Figura 2.18.- INSPECCIÓN VISUAL ENTRE PASES MIENTRAS SE MANTIENE ADECUADAMENTE LA TEMPERATURA DE LA UNIÓN

II.4.2.- ENSAYOS DE DUREZA BRINELL.

Las mediciones se realizaron con un equipo computarizado manual especialmente fabricado para realizar mediciones en piezas y lugares de difícil movilidad o acceso. Este equipo consiste en una pequeña computadora y un punzón automático, en forma semejante a la de un bolígrafo. Primeramente se selecciona que tipo de acero se va a ensayar y se posiciona el punzón sobre la superficie a analizar, seguidamente se activa el punzón y la computadora registra la altura de rebote de la esfera o indentador, esta lee el resultado y arroja la dureza medida. Las especificaciones de este equipo son las siguientes:

Marca:	PROCEQ
Modelo:	Hardness Tester EQUOTIP
Tipo:	D
Dureza Máxima:	700 Brinell Hardness
Carga:	15Kgf.
Energía de Impacto:	11 Nmm
Masa del Identador:	5.5 gr.
Diámetro del Identador:	3 mm
Material del Identador:	Carburo de Tungsteno
Dureza del Identador:	100 HB aprox.

Para obtener unas medidas realmente confiables fue necesario hacerlas sobre superficies lisas, para esto se limó desde aproximadamente tres centímetros (3cm) a cada lado del cordón de soldadura.

Las mediciones se realizaron siguiendo las recomendaciones del Código ASME⁽¹⁰⁾ y del Procedimiento Petrozuata⁽¹³⁾ correspondiente. En la Figura 2.19 se puede observar la distribución que se utilizó para la toma de durezas.

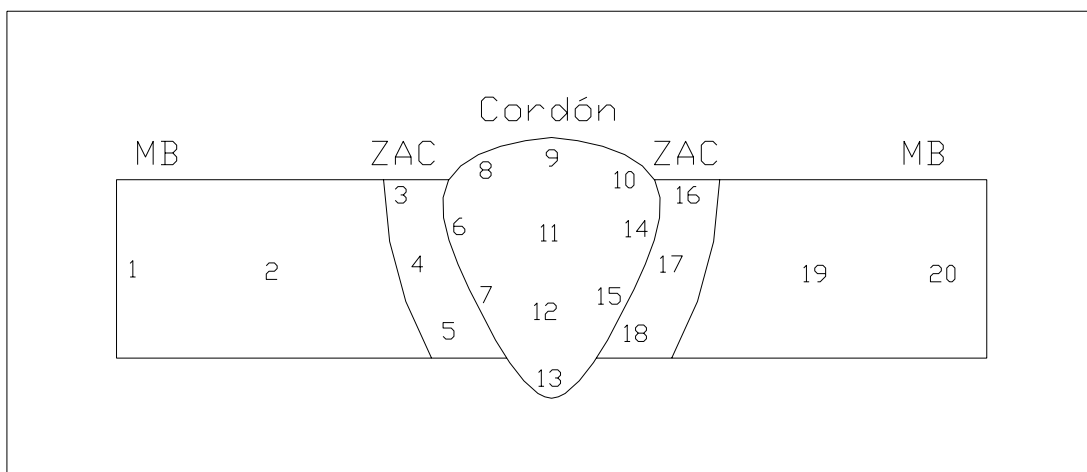


Figura 2.19.- PUNTOS DE MEDICIÓN DE LA DUREZA.

II.4.3.- ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Las dos probetas fueron maquinadas a la medida recomendada por el Código ASME, Sección IX⁽¹⁰⁾ y posteriormente traccionadas hasta su ruptura en una Máquina de Ensayos de Materiales, Marca: Tinius Olsen, Modelo: Súper L, con capacidad máxima de 400.000 lb. obteniendo la gráfica correspondiente de Esfuerzo-Deformación, la Carga Máxima, el Esfuerzo Máximo y el Lugar de Fractura.

II.4.4.- ENSAYOS DE DOBLADO.

Las cuatro probetas fueron maquinadas a la medida recomendada por el Código ASME, Sección IX⁽¹⁰⁾ y posteriormente dobladas, en un troquel y punzón que

cumplieran con las especificaciones, hasta un ángulo de 180°. Para el doblado se utilizó la misma Máquina de Ensayos de Materiales que para los ensayos de Tracción.



Figura 2.20.- MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL USADA PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.



Figura 2.21.- MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL USADA PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE DOBLADO.

CAPITULO III

RESULTADOS

III.- RESULTADOS.

III.1.- ANÁLISIS QUÍMICO.

III.1.1.- MATERIALES BASE.

El análisis de Identificación Positiva de Materiales (IPM) ⁽¹²⁾ en la tubería, arrojó los siguientes resultados:

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA TUBERÍA							
COMPOSICIÓN	C	Mg	P	S	Si	Cr	Mo
%	0.149	0.42	0.015	0.021	0.38	9.2	0.98

Tabla 3.1

Ambos lados de la probeta se extrajeron de la misma tubería por lo que no hizo falta realizarle la prueba a ambas partes.

III.1.2.- MATERIALES DE APORTE.

La composición nominal según el Código ASME, Sección II, Parte C⁽⁷⁾, debe ser la siguiente:

COMPOSICIÓN QUÍMICA NOMINAL DE LOS MATERIALES DE APORTE									
PIEZA/ %	C	Mg	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
VARILLA	0.1	0.40-0.70	0.025	0.025	0.5	0.5	8.00-10.5	0.8-1.2	0.35
ELECTRODO.	0.05-0.1	0.1	0.03	0.03	0.9	0.4	8.00-10.5	0.85-1.2	X

Tabla 3.2

El análisis de Identificación Positiva de Materiales (IPM) ⁽¹²⁾ arrojó los siguientes resultados:

COMPOSICIÓN QUÍMICA REAL DE LOS MATERIALES DE APORTE									
PIEZA / %	C	Mg	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
VARILLA	0.96	0.52	0.018	0.013	0.47	0.48	9.3	1.05	0.35
ELECTRODO	0.87	0.95	0.015	0.023	0.56	0.35	9.4	1.15	X

Tabla 3.3

III.2.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

III.2.1.- INSPECCIÓN VISUAL.

Se observó una buena preparación de la junta, los biseles poseían los ángulos correctos, los bordes se encontraban limpios a la hora de la soldadura, los tramos se puntearon de forma correcta y logrando una buena alineación.

La probeta cumplió con el grado de inclinación recomendado en el Código ASME, Sección IX⁽¹⁰⁾.

Las inspecciones visuales entre pases fueron satisfactorias, al igual que la inspección final, ya que no se apreció ningún tipo de defecto ni de discontinuidad a lo largo del cordón ni de la zona afectada por el calor.

El soldador mostró gran habilidad a la hora de la soldadura, no solo con los procesos de soldadura sino también con las herramientas utilizadas para la limpieza de la junta entre una pasada y otra.



Figura 3.1.- INSPECCIÓN VISUAL DE LA ZONA SUPERIOR.



Figura 3.2.- INSPECCIÓN VISUAL DE LA ZONA LATERAL.



Figura 3.3.- INSPECCIÓN VISUAL DE LA ZONA INTERNA.

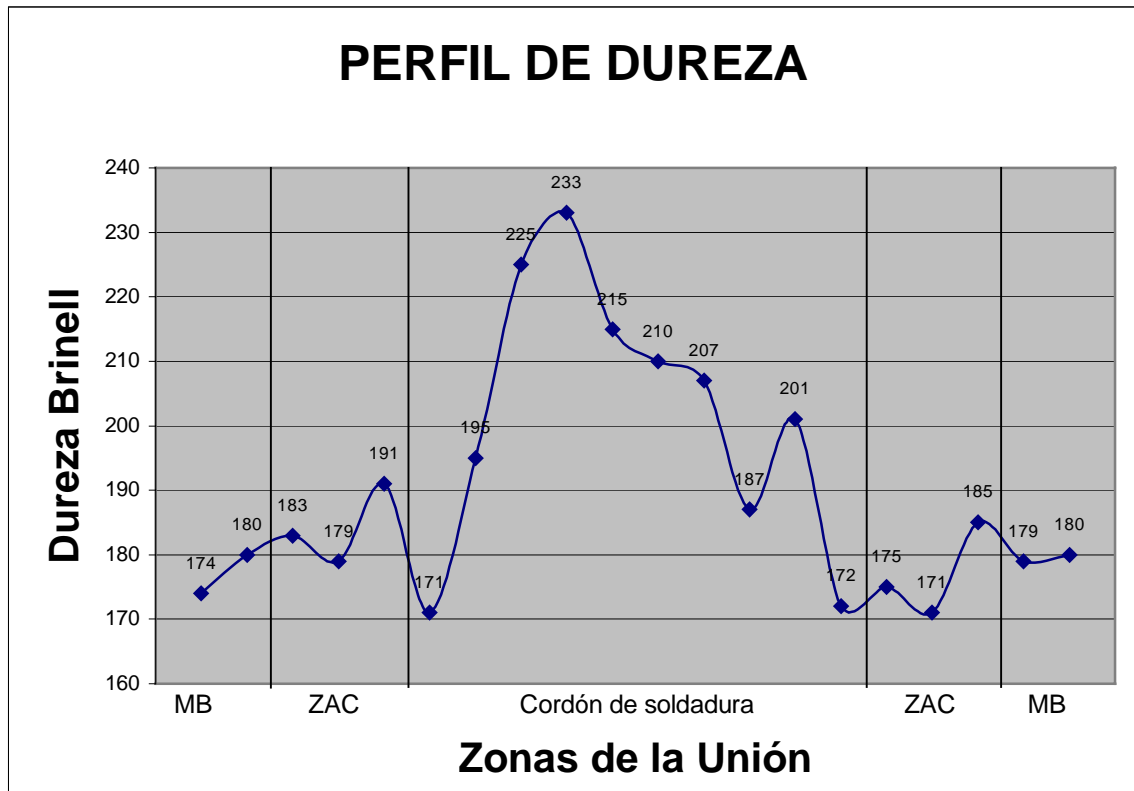
III.3.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS.

III.3.1.- ENSAYO DE DUREZA BRINELL.

Los resultados de este ensayo arrojaron los siguientes datos.

MEDICIÓN DE LA DUREZA BRINELL (BHN)																				
ZONA	MB		ZAC			Cordón de Soldadura										ZAC			MB	
MEDICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DUREZA BRINELL	174	180	183	179	191	171	195	225	233	215	210	207	187	201	172	175	171	185	179	200

Tabla 3.4



Gráfica 3.1

III.3.2.- ENSAYOS DE TRACCIÓN.

La resistencia a la tracción requerida en los tubos de Acero al 9Cr-1Mo se lista en el Código ASME, Sección IX, QW-422⁽¹⁰⁾.

Este Código exige que:

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

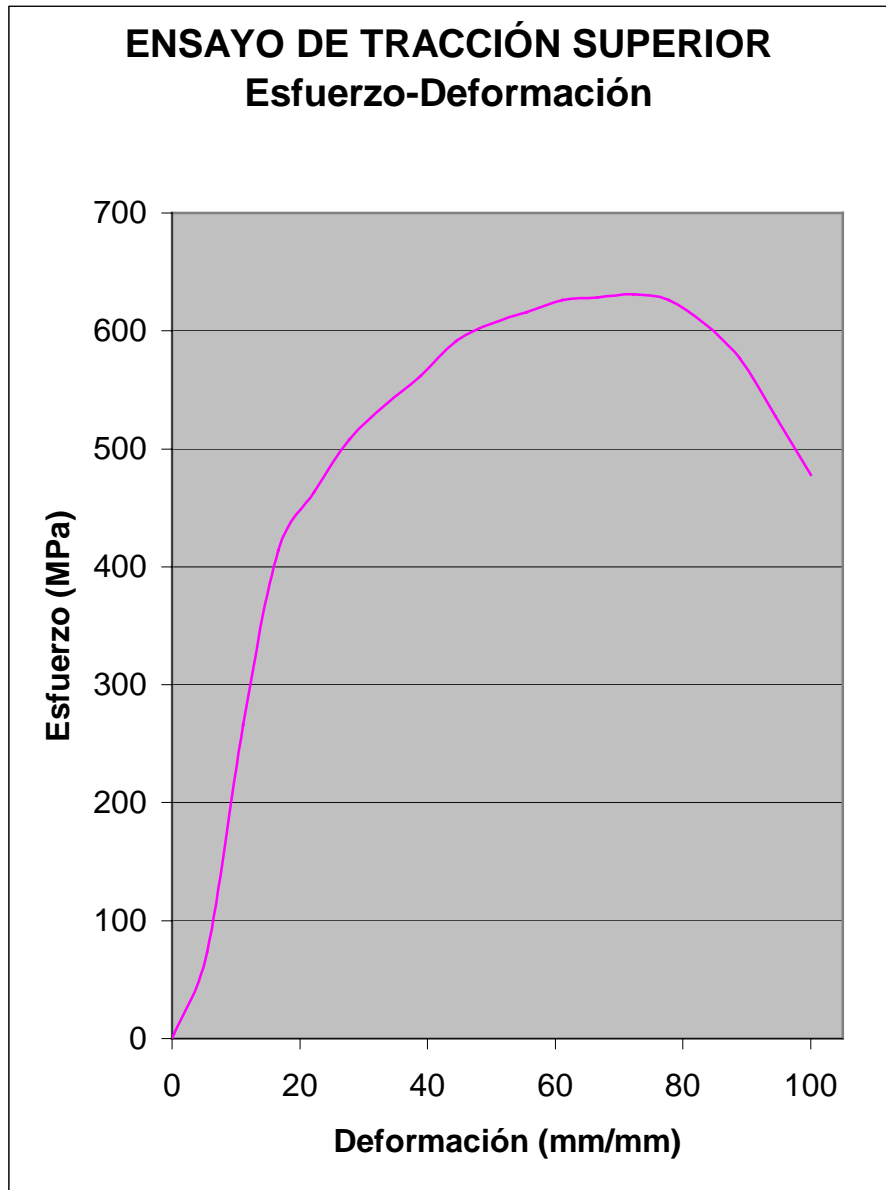
El análisis del laboratorio ASMECA ORIENTE C.A. arrojó los siguientes resultados.

ENSAYOS DE TRACCIÓN

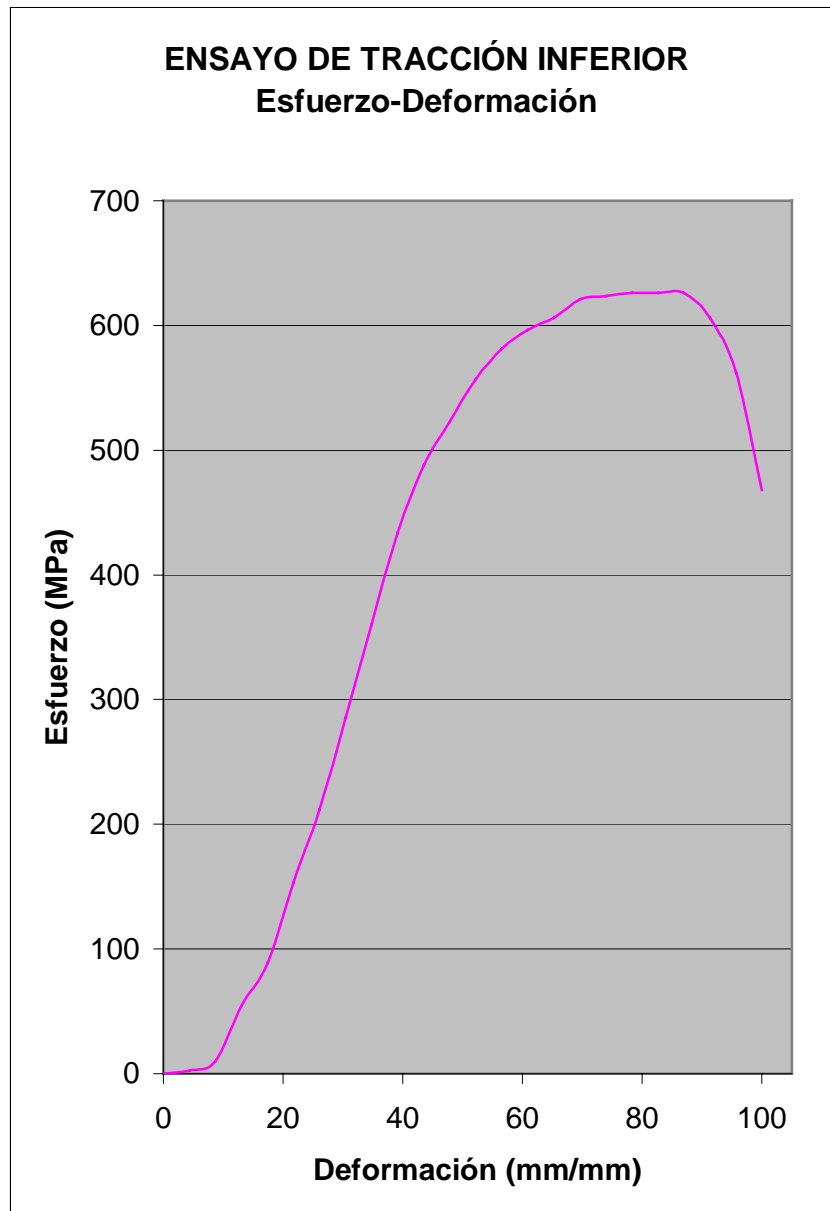
Muestra	Ancho Inicial (mm)	Espesor Inicial (mm)	Área Transversal Inicial (mm ²)	Ancho Final (mm)	Espesor Final (mm)	Área Transversal Final (mm ²)	Carga Máxima		Esfuerzo Máximo		Elongación mínima %	Reducción de área mínima %
							lbf.	Kgf	MPa	KSI		
Tracción Superior	19.00	9.50	180.50	12.70	6.50	82.55	25.600	11.612	630.0	91.3	8.15	54.27
Tracción Inferior	19.20	9.20	176.64	12.10	5.20	62.92	25.400	11.521	638.7	92.6	12.95	64.38

Tabla 3.5

Los gráficos 3.2 y 3.3 muestran las curvas características de los ensayos de tracción y las figuras 3.4 y 3.5 se muestran las probetas de tracción justo al momento del encuellamiento.



Gráfica 3.2



Gráfica 3.3



Figura 3.4.- ENCUELLAMIENTO DE LA PROBETA DE TRACCIÓN SUPERIOR



Figura 3.5.- ENCUELLAMIENTO DE LA PROBETA DE TRACCIÓN INFERIOR

III.3.3.- ENSAYOS DE DOBLADO.

El ensayo de doblado exige que en caso de presentar alguna ranura la cara sometida a esfuerzos de tracción de la probeta, esta no debe ser mayor de 1/8" (3.2mm); Las ranuras ocurridas en las esquinas no se tomarán en cuenta a menos que evidencien falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

Los resultados del Laboratorio fueron los siguientes:

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO		
Muestra	Dimensiones	Observaciones
Doblado de Cara Superior	1½"	No Presentó Defectos.
Doblado de Cara Inferior	1½"	No Presentó Defectos.
Doblado de Raíz Superior	1½"	No Presentó Defectos.
Doblado de Raíz Inferior	1½"	No Presentó Defectos.

Tabla 3.6



Figura 3.6.- MECANISMO DE DOBLADO DE LAS PROBETAS

III.4.- REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (RCP).

Primera Página:

PETROZUATA		Petrozuata - Upgrader																																																										
P		REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (RCP)																																																										
RCP N°.		Pz-008		Fecha: 18 de Septiembre de 2.002																																																								
EPSN°.		Pz-008																																																										
Proceso(s) de Soldadura: GTAW / SMAW			Tipo(s): MANUAL																																																									
JUNTA (QW-402) Diseño de la junta a: <u>Ranura simple en "V"</u> Respaldo: Si: <u> </u> No: <u>x</u> Material de respaldo: <u>N/A</u> Metal fundible: <u>N/A</u> Metal no fundible: <u>N/A</u> Material no metálico: <u>N/A</u> Otro: <u> </u>																																																												
METAL BASE (QW-403) P-N°: <u>5B</u> Grupo N°: <u>1</u> a P-N°: <u>5B</u> Grupo N°: <u>1</u> Especificación: <u>ASTM SA335-P9</u> a Especificación: <u>ASTM SA335-P9</u> Rango de espesores: <u> </u> Tope: <u>0.375"</u> Filete: <u> </u> Rango de Diámetros de Tubería: <u> </u> Tope: <u>12" STD</u> Filete: <u> </u> Otros: <u> </u>																																																												
METAL DE APORTE (QW-404) <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1°</th> <th>2°</th> <th>3°</th> <th>Otras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Especificación (SFA). No:</td> <td>5.28</td> <td>5.28</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> </tr> <tr> <td>Clasificación A W S. No:</td> <td>ER505</td> <td>ER505</td> <td>E505-18</td> <td>E505-18</td> </tr> <tr> <td>F-No.</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>A-No.</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del metal de aporte:</td> <td>1/16"</td> <td>1/16"</td> <td>1/8"</td> <td>1/8"</td> </tr> <tr> <td>Metal de aporte.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango de espesores</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tope</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							1°	2°	3°	Otras	Especificación (SFA). No:	5.28	5.28	5.5	5.5	Clasificación A W S. No:	ER505	ER505	E505-18	E505-18	F-No.	6	6	4	4	A-No.	5	5	5	5	Diámetro del metal de aporte:	1/16"	1/16"	1/8"	1/8"	Metal de aporte.					Rango de espesores					Tope					Filete					Otros:				
	1°	2°	3°	Otras																																																								
Especificación (SFA). No:	5.28	5.28	5.5	5.5																																																								
Clasificación A W S. No:	ER505	ER505	E505-18	E505-18																																																								
F-No.	6	6	4	4																																																								
A-No.	5	5	5	5																																																								
Diámetro del metal de aporte:	1/16"	1/16"	1/8"	1/8"																																																								
Metal de aporte.																																																												
Rango de espesores																																																												
Tope																																																												
Filete																																																												
Otros:																																																												
POSICIÓN (QW-405) Posición de la junta a Tope: <u>6G</u> Avance del cordón: Sup. <u>x</u> Inf. <u> </u> Posición de la junta a Filete: <u> </u>		PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. min. de Pre calentamiento: <u>230°C (450°F)</u> Temp. max. entre pases: <u>230°C (450°F)</u> Pre calentamiento mantenido: Si: <u>x</u> No: <u> </u>		TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407) Rango de Temp.: <u>Ver Nota.</u> Rango de Tiempo: <u> </u>																																																								
GAS DE PROTECCIÓN (QW-408) Composición <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del cordón</td> <td>Ar/O₂</td> <td>97/3%</td> <td>18-24cfh</td> </tr> <tr> <td>De arrastre</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>De respaldo</td> <td>Ar/O₂</td> <td>97/3%</td> <td>5-6 cfh</td> </tr> </tbody> </table>				Gas	Mezcla	Flujo	Del cordón	Ar/O ₂	97/3%	18-24cfh	De arrastre				De respaldo	Ar/O ₂	97/3%	5-6 cfh	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409) Corriente: AC <u> </u> DC <u>x</u> Polaridad: <u>GTAW (DCEN) / SMAW (DCEP)</u> Amps (Rango): <u>70-165</u> Volts (Rango): <u>20-30</u> Tipo y tamaño del electrodo de Tugteno: <u>EW Th-2</u> Modo de transferencia de metal en GMAW: <u>N/A</u> Rango de velocidad de alimentación del alambre: <u>N/A</u>																																									
	Gas	Mezcla	Flujo																																																									
Del cordón	Ar/O ₂	97/3%	18-24cfh																																																									
De arrastre																																																												
De respaldo	Ar/O ₂	97/3%	5-6 cfh																																																									
TECNICA (QW-410) Oscilante o de Vaivén: <u>Vaivén.</u> Método de respaldo posterior: <u>N/A</u> Limpieza inicial y entre pases: <u>Limpiar con cepillo de Acero Inoxidable hasta 1" lateral a la junta.</u> Oscilación: <u>Máximo tres veces el diámetro del electrodo.</u>																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pasada</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte.</th> <th colspan="3">Corriente.</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance.</th> <th rowspan="2">Otros</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Amp. (Rango)</th> <th>Volt. (Rango)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1°</td> <td>GTAW</td> <td>ER505</td> <td>1/16"</td> <td>DC (-)</td> <td>70-150</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2°</td> <td>GTAW</td> <td>ER505</td> <td>1/16"</td> <td>DC (-)</td> <td>70-150</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3°</td> <td>SMAW</td> <td>E505-18</td> <td>1/8"</td> <td>DC (+)</td> <td>115-165</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otras</td> <td>SMAW</td> <td>E505-18</td> <td>1/8"</td> <td>DC (+)</td> <td>115-165</td> <td>20-30</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Pasada	Proceso	Metal de aporte.		Corriente.			Velocidad de avance.	Otros	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)	1°	GTAW	ER505	1/16"	DC (-)	70-150	20-30			2°	GTAW	ER505	1/16"	DC (-)	70-150	20-30			3°	SMAW	E505-18	1/8"	DC (+)	115-165	20-30			Otras	SMAW	E505-18	1/8"	DC (+)	115-165	20-30							
Pasada	Proceso	Metal de aporte.		Corriente.				Velocidad de avance.	Otros																																																			
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Amp. (Rango)	Volt. (Rango)																																																						
1°	GTAW	ER505	1/16"	DC (-)	70-150	20-30																																																						
2°	GTAW	ER505	1/16"	DC (-)	70-150	20-30																																																						
3°	SMAW	E505-18	1/8"	DC (+)	115-165	20-30																																																						
Otras	SMAW	E505-18	1/8"	DC (+)	115-165	20-30																																																						
Notas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Nunca usar Marcadores para tuberías con mas de 50ppm de cloruros. Entre ellos lo de la marca Nissen. 2. La junta se debe limpiar antes de cada pasada. Cuando se complete el cordón se debe retirar toda la escoria y la protección Usar Cepillo de Acero Inoxidable y Piedras Abrasivas que no se hallan usado con anterioridad en otros metales. 3. El pre calentamiento se debe mantener mientras se corta, se pountea o se suelda la junta. 4. Tratamiento Térmico: Calentamiento libre hasta 800°F. Continuar calentamiento a 400°F/Hr. hasta 1350°F. Mantener a 1350 por dos hora. Enfriar a 500°F/Hr. hasta 800°F. Continuar con enfriamiento libre hasta la temperatura ambiente. Calentar hasta 2.1/2" laterales a la junta. 5. Criterio de Aceptación: 5.1. PT: Inaceptable: Indicaciones Relevantes (Indicaciones con dimensiones mayores a 1/16" o una indicación que sea tres veces mas larga que ancha); Circunferencias Relevantes (Indicaciones de apariencia circular o elíptica de dimensiones iguales o menores de tres veces su espesor) mayores de 3/4"; Cuatro o más Indicaciones Circulares Relevant que se encuentren en una misma línea separadas por 1/16" o menos (borde a borde). 5.2. VT: Inaceptable: grietas, falta de fus penetración incompleta, inclusiones de escoria ni una socabadura mayor de 1/32" y T/4. 6. Dureza máxima 241BHN. 																																																												

Figura 3.7.- PLANILLA DEL RCP (PRIMERA PÁGINA)

III.4.- REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (RCP).

Segunda Página:


		Petrozuata - Upgrader REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (RCP)						
		RCP N°.	Pz-008	Fecha:	18 de Septiembre de 2.002			
		EPS N°	Pz-008					
Pruebas de Tracción (QW-150)								
Especimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (lbf) [Kgf]	Esfuerzo Máximo (MPa) [PSI]	Lugar de fractura.		
1º Tracción Superior	19.00	9.50	180.50	(25.600) [11.612]	(630.0) [91.382]	Metal Base.		
2º Tracción Inferior	19.20	9.20	176.64	(25.400) [11.521]	(638.7) [92.649]	Metal Base.		
Pruebas de Doblez (QW-160)								
Tipo y Figura No.		Dimensiones		Observaciones.				
3º Doblado de Cara Superior		1½"		No presentó defectos.				
4º Doblado de Cara Inferior		1½"		No presentó defectos.				
5º Doblado de Raiz Superior		1½"		No presentó defectos.				
6º Doblado de Raiz Inferior		1½"		No presentó defectos.				
Pruebas de Dureza (QW-170)								
Probeta N°.	Localización de la cuña.	Tamaño de la Probeta.	Temp. de la Prueba.	Valores del Impacto.			Nº de Dureza Brinell	Peso decendiente con freno (S/N)
				Ft. lbs.	% Corte	Espesor		
1	MB						178	
	ZAC						181	
	Cordón						202	
Comentarios: _____								
Prueba de la soldadura a Filete (QW-180)								
Resultado Satisfactorio: Si: _____ No: _____			Penetración completa: Si: _____ No: _____					
Macro-análisis: _____								
Otras Pruebas								
Tipo de prueba: _____								
Resultado del análisis: _____								
Otros: _____								
.....								
Nombre del soldador: <u>Eliceo Medina</u>				Estampa No. <u>R81</u>				
Inspección conducida por: <u>Carlos Suárez Celma</u>				Laboratorio: <u>ASMECA Oriente C.A.</u>				
Certificamos que las declaraciones en este expediente están correctas y que las juntas de la prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la sección IX del código de ASME.								
Fecha: <u>18-Sep-2.002</u>			Por PETROZUATA, C.A. <u>Rafael Rengifo</u>					

Figura 3.8.- PLANILLA DEL RCP (SEGUNDA PÁGINA)

III.5.- CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (CDS).


 Petrozuata - Upgrader CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (CDS)				
WPQ N°.	Pz-008	WPS N°.	Pz-008	
PQR N°.	Pz-008	Fecha:	18-09-2.002	
Nombre del soldador/operador:	Eliceo Medina		Estampa N°.	R81
Proceso(s) de soldadura utilizado(s):	GTAW / SMAW		Tipo:	MANUAL
VARIABLES MANUALES O SEMIAUTOMÁTICAS DE CADA PROCESO (QW-350)				
	Valores Actuales	Rango Calificado		
Respaldo (metal, metal soldado, soldadura por ambas caras, flux, etc.):	N/A	N/A		
ASME P-N° <u>5B (SA335-P9)</u> a ASME P-N° (QW-402):	5B (SA335-P9)	5B		
[] Chapa [x] Tubo (Indicar diámetro en caso de ser tubería):	12"	Mayor de 2.1/2"		
Espesor:	0.375"	1/16" to 3/4"		
Especificación del metal de aporte (SFA): <u>5.28 / 5.5</u> Clasificación (QW-404)	5.28 / 5.5	5.28 / 5.5		
Metal de aporte F-N°:	6 / 4	6 / 4		
Variedad del metal de aporte para GTAW, PAW (QW-404):	ER505	ER80S-B8		
Consumible para GTAW o PAW:	N/A	N/A		
Espesor depositado por cada proceso de soldadura:	Cualquiera	Cualquiera		
Posiciones de soldeo (1G, 5G, etc.) (QW-405):	Todos	Todos		
Progresión (Ascendente / descendente):	Ascendente	Ascendente		
Gas de protección para GTAW, PAW, o GMAW; gas combustible para OFW (QW-408):	97% Ar / 3% O ₂	97% Ar / 3% O ₂		
Modo de transferencia para GTAW (QW-409):	DC	DC		
Tipo y polaridad de la corriente para GTAW:	DCEN	DCEN		
VARIABLES DE LA MÁQUINA DE SOLDAR PARA CADA PROCESO USADO (QW-360)				
	Valores Actuales	Rango Calificado		
Control visual directo o remotol:	Directo	Todos		
Control automático de voltage (GTAW):	N/A	N/A		
Seguimiento automático de la junta:	No	No		
Posición de soldeo (1G, 5G, etc.):	Todos	Todos		
Consumible:	ER505 / E505-18	ER80S-B8/E8018-B8		
Respaldo (metal, metal soldado, soldadura por ambas caras, flux, etc.):	N/A	N/A		
GUÍA DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DOBLADO				
Tipo	QW-462.2 (Lado) Resultado	QW-462.3.a (Trans. R y C) Resultado	QW-462.3.b (Long. R y C) Resultado	
1° Dob. de Cara (QW-462.3a)		No presentó defectos		
2° Dob. de Raiz (QW-462.3a)		No presentó defectos		
Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4): Satisfactorio.				
Resultado de la Prueba Radiográfica (QW-304 y QW-305): _____				
Soldadura a filete: [] Prueba de fractura: _____				
Longitud y % de defectos: _____				
Examen metalográfico: _____				
Concavidad / Convexidad (pulg.): _____				
Inspecciones de la soldadura conducido por: Carlos Suárez Celma				
Pruebas Mecánicas conducidas por: ASMECA Oriente C.A.				
Certificamos que las declaraciones en este expediente están correctas y que las juntas de la prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la sección IX del código de ASME				
Fecha:	<u>18-Sep-2.002</u>	Por PETROZUATA, C.A.	<u>Rafael Rengifo.</u>	

Figura 3.9.- PLANILLA DE LA CDS

III.6.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

III.6.1.- ANÁLISIS QUÍMICO.

Los valores determinados mediante el análisis de la aleación de los materiales bases, las varillas de soldar y los electrodos revestidos se encuentran en los rangos establecidos por las normas.

Como era de esperar tanto la varilla de soldar como el electrodo revestido presentaron porcentajes mayores de Cromo y de Molibdeno, estos los producen así con la finalidad de mantener los niveles de Cromo y Molibdeno lo suficientemente altos en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor, a pesar de la formación de carburos de Cromo que se forman por los procesos de soldadura, y de esta forma mantener las propiedades anticorrosivas y de trabajos en caliente a niveles adecuados.

Gracias a estos resultados podemos asegurar que se trabajó con los materiales adecuados en ambos procesos de soldadura, augurando una muy buena dilución entre los metales de aporte entre sí y con el metal base.

III.6.2.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

El ensayo no destructivo que se utilizó para evaluar la junta soldada fue la Inspección Visual. Este ensayo comenzó con la evaluación del bisel, las mediciones de los ángulos fueron correctas y la limpieza de ambas partes de tubería realizó de forma muy minuciosa, se eliminó cualquier rastro de grasa, pintura, óxido y cualquier otro agente que pudiera provocar una discontinuidad. El punteo se realizó de manera que no dañara ninguna zona cercana a la ranura. El pase de raíz se inspeccionó muy meticulosamente y no se encontró ningún tipo de discontinuidad y mucho menos defectos, por lo que se realizó el segundo sin mayores dificultades ni pérdidas de tiempo. Este tampoco presentó discontinuidades relevantes. Este fue el último de los pases realizado con el proceso GTAW, los siguientes se realizaron con SMAW. Ni en el tercero ni en el cuarto pase se evidenciaron defectos, aunque después del tercero hizo falta realizar una limpieza con esmeril y cepillo de alambre para eliminar todo rastro de escoria.

Esta inspección también se utilizó para verificar que tanto las varillas como los electrodos fueran del mismo lote que los analizados, reduciendo al mínimo las posibilidades de errores.

Igualmente se empleó la inspección visual para el control de la temperatura de precalentamiento y entre pases, siempre ayudado por los marcadores térmicos.

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

III.6.3.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS.

III.6.3.1.- Ensayo de Dureza.

El perfil de durezas en las zonas cercanas a la soldadura resultó tal como se esperaba, es decir, la máxima dureza se presento en el centro del cordón de soldadura y fue disminuyendo a medida que nos alejábamos.

Dado que se realizo tratamiento térmico posterior a la soldadura, se liberaron todas las posibles tensiones que se producen durante los procesos de soldadura, por lo que el aumento de dureza debe ser el resultado de la formación de carburos. Tomando en cuenta que todas las mediciones arrojaron resultados de dureza por debajo del máximo permisible (241BHN), la formación de estos carburos no debió ser excesiva.

Para los efectos de este ensayo destructivo, los resultados se toman como satisfactorios y aceptables, confiando que las futuras soldaduras realizadas según este procedimiento no sufrirán de endurecimiento excesivo.

Dado que tanto la Inspección Visual como el ensayo de dureza resultaron satisfactorios se prosiguió a la preparación y realización de los de tracción y doblado.

III.6.3.2.- Ensayo de Tracción.

Las dos probetas rompieron por el metal base, demostrándonos que las propiedades mecánicas a la tracción en el cordón de soldadura son superiores que en el metal base.

Otro punto importante es que la resistencia mínima a la tracción, de ambas probetas, fueron mucho mayores que la exigida al metal base por las normas.

Las fracturas de ambas probetas resultó ser dúctil, esto se observó en el análisis de las gráficas y se evidenció en las superficies fracturadas de ambas probetas, las cuales presentaron los respectivos labios sobresalientes de las fracturas de este tipo.

Ambas probetas presentaron una reducción de área acorde con las normas, mas no así su elongación, la cual resultó ser menor que la esperada, probablemente se debió a que el laboratorio encargado de realizar estos ensayos tomó como medición original 80 mm en vez de los 50 mm recomendados por la norma, medida que abarca no solo la región estrecha de las probetas sino también una pequeña área de la curvatura. Esta observación se le informó al laboratorio con el fin de no cometer los mismos errores en futuras calificaciones de procedimientos.

La Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾ menciona el criterio de aceptación para este tipo de ensayos destructivos en el párrafo QW-153.1(a), el cual dice textualmente: “Con objeto de pasar el ensayo de tracción, la probeta debe tener un esfuerzo a la tensión no menor al esfuerzo mínimo a la tensión del metal base especificado.” En base a esto, nuestros resultados son considerados como satisfactorios, pues las dos probetas rompieron con esfuerzos a tensión mayores que el especificado.

Las figuras 3.10 y 3.11 muestran las probetas una vez ensayadas.



Figura 3.10.- PROBETA DE TRACCIÓN SUPERIOR



Figura 3.11.- PROBETA DE TRACCIÓN INFERIOR

III.6.3.3.- Ensayo de Doblado.

Con respecto al Ensayo de Doble, ninguna de las cuatro probetas presentó algún tipo de grieta, ni sobre el cordón de la soldadura ni sobre la zona afectado por el calor de la cara convexa. Por lo que podemos decir que presentaron muy buena ductilidad.

El criterio de aceptación para el ensayo de doblez se indica en el párrafo QW-163 de la Sección IX del Código ASME⁽¹⁰⁾, este dice textualmente: “Las probetas de doblez guiado, no deben tener defectos abiertos en el cordón o en la zona afectada por el calor, que excedan de 3,17 mm; medidos en cualquier dirección sobre la superficie convexa de la probeta después de haber sido doblada”.

Basándonos en este criterio de aceptación, podemos decir que los resultados de todas las probetas son satisfactorios, ya que todos los valores obtenidos están acordes con este código.



Figura 3.12.- PROBETA DE DOBLADO DE CARA SUPERIOR



Figura 3.13.- PROBETA DE DOBLADO DE CARA INFERIOR



Figura 3.14.- PROBETA DE DOBLADO DE RAÍZ SUPERIOR



Figura 3.15.- PROBETA DE DOBLADO DE RAÍZ INFERIOR

III.6.4.- EQUIVALENCIAS DEL PROCEDIMIENTO.

El Código ASME en la Sección IX, párrafo QW-211⁽¹⁰⁾ expresa: “La calificación en planchas también califica para soldadura en tubo y viceversa. Las dimensiones del cupón de prueba deben ser las suficientes para satisfacer los requerimientos de los especímenes”. Por lo tanto, esta Especificación de Procedimiento de Soldadura también aplica para la soldadura de planchas de metales bases equivalentes y espesores similares a los calificados.

Este procedimiento calificado, aplica igualmente en la soldadura de materiales que posean el mismo número P y número de Grupo, que el material base utilizado. Es muy importante destacar que esta equivalencia no implica que dicha EPS se puede usar indiscriminadamente en la soldadura de otros metales bases con números P y números de Grupo similares al usado, siempre se debe tomar en cuenta las consideraciones de compatibilidad desde el punto de vista metalúrgico, mecánicos y de servicio.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1.- CONCLUSIONES

1. El procedimiento de soldadura para tuberías de acero al 9Cr-1Mo quedó calificado, aplicando el Código ASME, Sección IX.
2. El soldador, ejecutor del procedimiento de soldadura, quedó automáticamente calificado para realizar las uniones soldadas según esta EPS.
3. La utilización conjunta de los procesos de soldadura GTAW para los pases de raíz y SMAW para los de relleno proporciona una opción para realizar soldaduras de muy buena calidad en un tiempo relativamente corto.
4. Con esta Calificación de Procedimiento de Soldadura y Soldadores, se asegura una mejor calidad de las uniones en este tipo de tuberías.
5. Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura son mayores que las del metal base.
6. Realizar una inspección visual minuciosa al pase de raíz, proporciona un mecanismo para detectar de manera temprana, posibles discontinuidades y/o defectos.
7. Los pases de relleno, realizados mediante una técnica correcta, eliminan posibles discontinuidades de pases anteriores y refinan la microestructura del material anteriormente depositado.
8. El estricto control de la temperatura, durante el precalentamiento, entre pases y durante el tratamiento térmico de alivio de tensiones es sumamente importante para obtener una buena soldabilidad.

IV.2.- RECOMENDACIONES

1. Usar este procedimiento, sin alteraciones, para toda soldadura de tuberías y planchas de acero al 9Cr-1Mo que cumpla con las dimensiones calificadas.
2. Usar el proceso GTAW tanto para los pases de raíz como para los de relleno en las tuberías de bajo espesor.
3. Realizar el tratamiento térmico de alivio de tensiones inmediatamente después de haber culminado la unión de las tuberías, con el fin de minimizar el riesgo de fisuración en frío.
5. Realizar una junta sin la aplicación de precalentamiento ni tratamiento térmico de alivio de tensiones y comparar los resultados con los obtenidos en este trabajo.
6. Realizar una junta con un precalentamiento a temperatura mucho más alta y por tiempo mas prolongado, pero sin tratamiento térmico de alivio de tensiones y comparar los resultados con los obtenidos en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Clasificación de los aceros al carbono y de baja aleación. (2002) [On-line]. Disponible en: www.key-to-steel.com/articles/art62.htm.
2. ¿Que es el acero?. (2002) [On-line]. Disponible en: www.infoacero.cl/acero/que_es.htm
3. ASM Metal Handbook. "*Propieties and selection iron, steels and high-performance alloys*". Volumen 1, año 1990. Artículo: Introduction to the selection of carbon and low-alloy steels.
4. ASM Metal Handbook. "*Welding, Brazing and Soldering*". Volumen 6, año 1983. Artículo: Elevated-temperature properties of ferritic steels.
5. CIED. "Curso de soldadura para inspectores". Volumen 1, año 1999.
6. IGNOTO, Vicente. 2001. "Soldadura para ingenieros". Caracas. U.C.V.
7. Código ASME, Sección II, Parte C. (1998). "Specifications for welding rods, electrodes and filler metals".
8. ASM Metal Handbook. "*Propieties and selection iron, steels and high-performance alloys*". Volumen 1, año 1990. Artículo: Influence of welding on the steel, weldment properties.
9. Procedimiento Petrozuata, PI-INS-020. (1999). "Alivio térmico en soldaduras".
10. Código ASME, Sección IX. (1998). "Welding and Brazing qualifications".
11. Código ASME, Sección B31.3. (1996). "Process piping".
12. Procedimiento Petrozuata, PI-INS-009. (1999). "Identificación positiva de materiales".
13. Procedimiento Petrozuata, PI-INS-018. (1999). "Ensayo de dureza Brinell en soldaduras de equipos y tuberías".

14. Fundamentos y teoría de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas inerte. (2002) [On-line]. Disponible en: www.soldadura17.turincon.com
15. Soldadura por arco manual con electrodo revestido. (2002) [On-line]. Disponible en: www.monografias.com/trabajos7/elecnev/elecnev.shtml
16. Soldadura en metales ferrosos. (2001) [On-line]. Disponible en: www.eradiomx.com/estudiantes/solmefe.asp?Id1=3
17. Soldadura. (1998) [On-line]. Disponible en: www.uca.edu.su/facultad/ing/mecarch/m210034/im1parte5.pdf
18. ASTM, Designación A 387/A 387M-99: Standard specification for pressure vessel plates, alloy steel, chromium-molybdenum.
19. REUTEMANN, A., CONDE, R. y BELMONTE, J. (1999). *Caracterización de soldaduras de reparación en aceros al Cr-Mo*. Buenos Aires: X Congreso Argentino de soldadura.
20. IRVING, Bob. (2001). *Welding offers utilities answers about new Chrome-Moly steel*. Revista: Welding Journal, Volumen 80, N°9, páginas 40 a la 44.
21. SWINDEMAN, R., MAZIASZ, P. y BRINKMAN, C. (2000). *Aging effects on the creep-rupture of 9Cr-1Mo-V steel*. Tennessee: Convención Internacional de Generación de Energía.
22. SOLARI, M., GARCÍA, A. y ASTA, E. (1999). *Reparación por soldadura de recipientes sometidos a presión de aceros al Cr-Mo*. Buenos Aires: X Congreso Argentino de Soldadura.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Extracto del Código ASME, Sección IX.

APÉNDICE 2

Extracto del Código ASME, Sección B31.3.

APÉNDICE 3

Procedimiento PETROZUATA PI-INS-009
“Identificación Positiva de Materiales”

APÉNDICE 4

Procedimiento PETROZUATA PI-INS-018
“Ensayo de dureza Brinell en soldaduras de equipos y tuberías”

APÉNDICE 5

Procedimiento PETROZUATA PI-INS-020
“Alivio térmico de soldadura”