



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR: PATRICIO LÓPEZ, FELIPE NARVÁEZ

**TEMA: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE JUNTAS
SOLDADAS EN PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO
UTILIZADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DESTINADAS PARA
VIVIENDAS DE HASTA TRES PISOS PARA EL DMQ**

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. GABRIEL OROZCO

SANGOLQUÍ, NOVIEMBRE 2013

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE JUNTAS SOLDADAS EN PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO UTILIZADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DESTINADAS PARA VIVIENDAS DE HASTA TRES PISOS PARA EL DMQ.”** fue realizado en su totalidad por los señores Patricio Daniel López Granja y Felipe Patricio Narváez Villarroel, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez

DIRECTOR

Ing. Gabriel Orozco

CODIRECTOR

Sangolquí, 2013-11-13

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Nosotros, PATRICIO DANIEL LÓPEZ GRANJA Y FELIPE PATRICIO
NARVÁEZ VILLARROEL**

DECLARAMOS QUE:

La tesis / proyecto de grado titulado **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE JUNTAS SOLDADAS EN PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO UTILIZADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DESTINADAS PARA VIVIENDAS DE HASTA TRES PISOS PARA EL DMQ.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 13 de Noviembre del 2013

Patricio Daniel López Granja
172010530-1

Felipe Patricio Narvárez Villarroel
171752083-5

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **PATRICIO DANIEL LÓPEZ GRANJA Y FELIPE PATRICIO NARVÁEZ VILLARROEL**

Autorizamos a la Universidad de las fuerzas armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE JUNTAS SOLDADAS EN PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO UTILIZADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DESTINADAS PARA VIVIENDAS DE HASTA TRES PISOS PARA EL DMQ.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 13 de Noviembre de 2013.

Patricio Daniel López Granja
172010530-1

Felipe Patricio Narvárez Villarroel
171752083-5

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios por darme la vida y forjar mi destino, a mi hermana quien me enseñó que el esfuerzo por conseguir la meta se debe al trabajo y la constancia, a mi padre por su gran ejemplo de lucha, a mi madre por creer siempre en mí y ser el pilar principal de mis fuerzas, sueños y anhelos, a mis sobrinas por esa muestra de inocencia recordándome que la imaginación es el inicio de grandes ideas, a mis abuelitos por consentirme y a mi enamorada por su gran apoyo, paciencia y cariño de siempre.

“La gente que está tratando de hacer este mundo peor no toman ni un día libre,

¿Cómo podría tomarlo yo?”

Bob Marley

Felipe Narváez Villarroel

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Decido esta tesis a mis padres, su ejemplo de lucha, constancia, son mi mayor ejemplo, con su apoyo y confianza pude finalizar una etapa más, en la búsqueda de ser una mejor persona y profesional, sus sabios consejos me enseñaron como estar preparado para enfrentar la vida al igual que me enseñaron como enfrentar la vida sin estar preparado.

A mi hermana mi cómplice de risas, mi hermano que me enseñó como luchar por la vida en los momentos difíciles y a mi novia por su apoyo y cariño, todos ellos confiaron en mí, me brindaron el apoyo necesario, sus ánimos fueron impulsos para lograr un objetivo más en el camino de mi vida.

Patricio López Granja

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios por esta etapa más de nuestras vidas, a nuestras familias que son el pilar esencial para seguir adelante, a los amigos que siempre han estado brindándonos su apoyo, a nuestros profesores de la Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos.

De una manera muy especial y sincera agradecemos a nuestro director de proyecto de grado Ingeniero Pérez por su apoyo, dirección y capacidad, no solamente en el desarrollo de esta tesis, si no como ejemplo de un excelente profesional. A nuestro codirector Ingeniero Gabriel Orozco por su afán de exigir excelencia en nuestro proyecto. Al ingeniero Enrique Jácome por su colaboración desinteresada, su alto profesionalismo y su calidad de persona. A Elsa Landeta, tía de Felipe, por su gran preocupación, apoyo a este proyecto. A Rosita por su calidad culinaria en esos días intensos de investigación. Y por último a IPAC S.A. por donaciones, por su interés de ayudar en la investigación y progresos del país.

Felipe y Patricio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxvi
NOMENCLATURA	xxvii
RESUMEN.....	xxxviii
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. ANTECEDENTES	3
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	7
1.5. OBJETIVOS.....	8
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES	9
2.1.1. LÍMITE DE ELASTICIDAD, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, Y CURVA ESFUERZO –DEFORMACIÓN.	9
2.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y MÓDULO TANGENTE.....	11

2.1.3. PLASTICIDAD.....	12
2.1.4. DUCTILIDAD	12
2.1.5. MALEABILIDAD	12
2.1.6. SOLDABILIDAD	12
2.1.7. DOBLADO	13
2.1.8. INFLUENCIA DEL CONFORMADO EN FRÍO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	15
2.1.9. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	16
2.1.10. EFECTOS DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO.	18
2.1.11. METALURGIA DE LA SOLDADURA	19
2.2. CONFORMADO EN FRÍO	25
2.2.1. FABRICACIÓN DE PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO	25
2.2.2. ACERO ESTRUCTURAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO.....	26
2.2.3. TIPOS DE PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO	28
2.3. ESTUDIO DE LAS NORMAS APLICABLES.....	29
2.3.1. AISI S100 - ESPECIFICACIÓN NORTE AMERICANA PARA EL DISEÑO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES CONFORMADOS EN FRÍO.....	29
2.3.2. AWS D1.1 CÓDIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL	30
2.4. TIPOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	33
2.4.1. MIEMBROS ESTRUCTURALES INDIVIDUALES.....	33
2.5. TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS	34

2.5.1. SOLDADURA DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO	34
2.5.2. TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS EN PERFILES CONFORMADO EN FRÍO.....	34
2.6. PROCESOS DE SOLDADURA.....	35
2.6.1. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SHIELDED METAL ARC WELDING – SMAW).....	35
2.6.2. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ALAMBRE SOLIDO CONTINUO PROTEGIDO CON GAS (GAS METAL ARC WELDING - GMAW).....	40
2.7. ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS.....	46
2.7.1. ENSAYOS MECÁNICOS DEL ACERO.....	46
2.7.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVO.....	47
2.7.3. PRUEBAS METALOGRAFICAS.....	51
2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	51
2.8.1. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS	52
CAPÍTULO 3: CALIFICACION MATERIAL BASE CONFORMADO EN FRÍO ASTM A36.....	
3.1. PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN	53
3.1.1. CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE ACERO	53
3.1.2. INSPECCIÓN	58
3.2. PROVEEDORES Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	59
3.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	60
3.3.1. ENSAYOS GEOMÉTRICOS.....	60
3.3.2. ENSAYOS MECÁNICOS.....	61

3.3.3. ENSAYOS METALÚRGICOS	63
3.3.4. ENSAYOS QUÍMICOS.....	65
3.4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES.....	66
3.4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS	66
3.4.2. ENSAYOS GEOMÉTRICOS DE LAS MUESTRAS.....	67
3.4.3. ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS MUESTRAS.....	77
3.4.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	85
3.4.5. ENSAYOS METALÚRGICOS	86
3.4.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	90
CAPÍTULO 4: JUNTAS SOLDADAS.....	91
4.1. PARÁMETROS DE SOLDADURA	91
4.1.1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).....	91
4.1.2. SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA CON GAS DE PROTECCIÓN (GMAW).....	92
4.2. TIPOS DE JUNTAS.....	93
4.2.1. JUNTA A TOPE	94
4.2.2. JUNTA EN “T”	94
4.2.3. JUNTA DE PENETRACIÓN ABIERTA EN “V”	94
4.3. PROCESOS DE SOLDADURA.....	94
4.4. SELECCIÓN DE JUNTAS Y PROCESOS DE SOLDADURA.....	96
4.5. CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS	99
4.5.1. FLUJO GRAMA DE FABRICACIÓN.....	100
4.5.2. EXTRACCIÓN DE PROBETAS	101
4.5.3. FIGURAS AWS D1.1 EXTRACCIÓN DE PROBETAS	102

4.5.4. ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURAS (WPS) PARA CADA MUESTRA.....	105
CAPÍTULO 5: ENSAYOS MECÁNICOS Y METALOGRAFICOS DE JUNTAS SOLDADAS	106
5.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	106
5.1.1. INSPECCIÓN VISUAL.....	106
5.1.2. LÍQUIDOS PENETRANTES	124
5.2. ENSAYOS METALOGRAFICOS	131
5.3. ENSAYOS MECÁNICOS	139
5.3.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN.....	139
5.3.2. ENSAYOS DE DOBLADO.....	145
5.3.3. ENSAYOS DE FILETE.....	150
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS	155
6.1. TABLA DE RESULTADOS	155
6.2. COMPARACIÓN CON NORMAS.....	158
6.3. IMPACTO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL DMQ	159
6.4. ANÁLISIS.....	162
6.4.1. ANÁLISIS INSPECCIÓN VISUAL	163
6.4.2. ANÁLISIS LÍQUIDOS PENETRANTES	167
6.4.3. ANÁLISIS ENSAYOS METALOGRAFICOS.....	169
6.4.4. ANÁLISIS ENSAYOS DE TRACCIÓN	173
6.4.5. ANÁLISIS ENSAYOS DE DOBLADO	177
6.4.6. ANÁLISIS ENSAYOS DE FILETE.....	180
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO	183
7.1. COSTOS DE PRODUCCIÓN	183

7.1.1. COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS	183
7.1.2. COSTOS DE SOLDADURA.....	185
7.1.3. COSTOS DE MANO DE OBRA.....	191
7.1.4. COSTOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS	191
7.1.5. COSTOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	192
7.1.6. COSTOS DE INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN	193
7.2. COSTOS DE EQUIPO.....	194
7.3. COSTOS TOTALES	195
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	196
8.1. CONCLUSIONES	196
8.2. RECOMENDACIONES	199
BIBLIOGRAFÍA	201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos químicos.	19
Tabla 2 Acero ASTM A36.....	28
Tabla 3 Electrodo más usados en proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido	37
Tabla 4 Orientación del electrodo y técnicas de soldeo típicas en el soldeo manual con electrodos revestidos para aceros al carbono.	40
Tabla 5 usos de diferentes gases de protección para el proceso de soldadura por arco eléctrico protegido con gas	43
Tabla 6 Tabla material de aporte soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW).....	44
Tabla 7 Angulo de inclinación de la pistola.....	46
Tabla 8 Calificación WPS-Soldaduras de Canal CJP, PJP y filete: Número y Tipo de Muestras de Ensayo y Rango de Espesor y Diámetro Calificado.	52
Tabla 9 Tabla de perfiles conformados en frío más usados en la construcción ecuatorialiana	53
Tabla 10 Tolerancias en espesor (mm)	54
Tabla 11 Tolerancias en la curvatura del alma.....	55
Tabla 12 Tamaño del lote y muestra, criterios de aceptación o rechazo para los requisitos.....	59
Tabla 13 Soluciones para ataque químico, metalografía.	65
Tabla 14 Descripción muestras DMQ sector Norte – La Carolina.	66
Tabla 15 Descripción muestras DMQ sector Centro – La Marín.	67
Tabla 16 Descripción muestras DMQ sector Sur - Hilluc.	67
Tabla 17 Tabla dimensiones sector Norte DMQ muestra 1	68

Tabla 18	Tabla radio interior curvatura sector Norte DMQ muestra 1	68
Tabla 19	Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector norte DMQ muestra 1	69
Tabla 20	Tabla pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 1	69
Tabla 21	Tabla dimensiones sector Norte DMQ muestra 2	70
Tabla 22	Tabla radio interior curvatura sector Norte DMQ muestra 2	70
Tabla 23	Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Norte DMQ muestra 2	70
Tabla 24	Tabla pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 2	70
Tabla 25	Tabla dimensiones sector Centro DMQ muestra 1	71
Tabla 26	Tabla radio interior curvatura sector Centro DMQ muestra 1	71
Tabla 27	Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Centro DMQ muestra 1	72
Tabla 28	Tabla pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 1	72
Tabla 29	Tabla dimensiones sector Centro DMQ muestra 2	73
Tabla 30	Tabla radio interior curvatura sector Centro DMQ muestra 2	73
Tabla 31	Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Centro DMQ muestra 2	73
Tabla 32	Tabla pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 2	74
Tabla 33	Tabla dimensiones sector Sur DMQ muestra 1	74
Tabla 34	Tabla radio interior curvatura sector Sur DMQ muestra 1	75
Tabla 35	Tabla de paralelismo y perpendicularidad Sur DMQ muestra 1	75
Tabla 36	Tabla pandeo del alma Sur DMQ muestra 1	75
Tabla 37	Tabla dimensiones sector Sur DMQ muestra 2	76
Tabla 38	Tabla radio interior curvatura sector Sur DMQ muestra 2	76
Tabla 39	Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Sur DMQ muestra 2	76
Tabla 40	Tabla pandeo del alma sector Sur DMQ muestra 2	77
Tabla 41	Tabla ensayos mecánicos Norte DMQ	77
Tabla 42	Tabla ensayos mecánicos sector Centro DMQ	80

Tabla 43 Tabla ensayos mecánicos sector sur DMQ	82
Tabla 44 Tabla aceptación/rechazo ensayos mecánicos DMQ	85
Tabla 45 Propiedades químicas sector Norte DMQ.....	85
Tabla 46 Propiedades químicas sector Centro DMQ.....	85
Tabla 47 Propiedades químicas sector sur DMQ.....	86
Tabla 48 Ensayos metalúrgicos Norte DMQ	87
Tabla 49 Ensayos metalúrgicos centro DMQ	88
Tabla 50 Ensayos metalúrgicos Sur DMQ.....	89
Tabla 51 Tabla de resultados calificación del material.....	90
Tabla 52 Parámetros ideales en soldadura por arco eléctrico protegido (SMAW).....	92
Tabla 53 Parámetros ideales en soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW)	92
Tabla 54 Tabla procedimiento de soldadura WPS.....	96
Tabla 55 Tabla extracción de probetas.....	101
Tabla 56 Criterios de aceptación para inspección visual	106
Tabla 57 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector norte DMQ.....	108
Tabla 58 Ensayo de inspección visual juntas soldadas GMAW sector norte DMQ.....	112
Tabla 59 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector centro DMQ....	114
Tabla 60 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector Sur DMQ	117
Tabla 61 Ensayo de inspección visual juntas soldadas GMAW sector sur DMQ	121
Tabla 62 Descripción y procedimiento para ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas.....	125
Tabla 63 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector Norte DMQ.....	126

Tabla 64 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas GMAW sector Norte	
DMQ.....	127
Tabla 65 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector	
Centro DMQ.....	128
Tabla 66 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector Sur	
DMQ.....	129
Tabla 67 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas GMAW sector Sur	
DMQ.....	130
Tabla 68 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Norte DMQ.....	140
Tabla 69 Tabla de ensayos tracción soldadura GMAW Norte DMQ	141
Tabla 70 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Centro DMQ.....	141
Tabla 71 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Sur DMQ	142
Tabla 72 Tabla de ensayos tracción soldadura GMAW Sur DMQ.....	144
Tabla 73 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Norte DMQ.....	146
Tabla 74 Tabla de doblado de raíz y cara GMAW Norte DMQ.....	147
Tabla 75 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Centro DMQ.....	147
Tabla 76 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Sur DMQ	148
Tabla 77 Tabla de doblado de raíz y cara GMAW Sur DMQ	149
Tabla 78 Tabla de ensayos de macro-ataque en juntas soldadas en filete SMAW	
Norte DMQ.....	151
Tabla 79 Tabla de ensayos de macro-ataque en juntas soldadas en filete SMAW	
Centro DMQ.....	152
Tabla 80 Tabla de ensayos de Macro-Ataque en juntas soldadas en filete SMAW	
Sur DMQ	153
Tabla 81 Tabla de resultados soldadura SMAW sector Norte DMQ.....	155

Tabla 82 Tabla de resultados soldadura GMAW sector Norte DMQ.....	155
Tabla 83 Tabla de resultados soldadura SMAW sector centro DMQ.....	156
Tabla 84 Tabla de resultados soldadura SMAW sector sur DMQ.....	157
Tabla 85 Tabla de resultados soldadura GMAW sector sur DMQ.....	158
Tabla 86 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	162
Tabla 87 Diferencias tamaño de grano en micrografías.....	172
Tabla 88 Costos materiales directos capítulo 3.....	183
Tabla 89 Costos materiales directos capítulo 4.....	184
Tabla 90 Costos insumos de soldadura directos capítulo 4.....	184
Tabla 91 Costos materiales directos capítulo 5.....	185
Tabla 92 Factor operador de procesos de soldadura	186
Tabla 93 Tabla de áreas de la sección transversal de los tipos de juntas usados	187
Tabla 94 Tabla de rendimiento del metal de aporte.....	188
Tabla 95 Costos de soldadura de tipo de juntas para proceso de soldadura SMAW y GMAW para los sectores del DMQ	190
Tabla 96 Costo de mano de obra.....	191
Tabla 97 Costos de Ensayos Destructivos	192
Tabla 98 Costos ensayos no destructivos.....	192
Tabla 99 Costos materiales indirectos de soldadura	193
Tabla 100 Costos materiales indirectos de fabricación de juntas soldadas y extracción de probetas	193
Tabla 101 Costos de gastos generales.....	194
Tabla 102 Costos de equipos, maquinaria.	194
Tabla 103 Costos totales del estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas	195

Tabla 104 Costos totales reales del estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas.....	195
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Curva esfuerzo deformación del acero al carbono (a) curva con fluencia pronunciada (b) curvas con fluencia gradual.	10
Fig. 2 Determinación del límite de fluencia en curvas con fluencia gradual, método de compensación	11
Fig. 3 Terminología del doblado.	14
Fig. 4 Efecto de inclusiones sobre el agrietamiento.	14
Fig. 5 Restitución en el doblado.	15
Fig. 6 Efectos del conformado en frío en las propiedades mecánicas en sus diferentes secciones.	15
Fig. 7 Efectos de endurecimiento y envejecimiento por deformación.	16
Fig. 8 Microestructura a 250 X (a) Laminado en caliente, (b) Normalizado.	17
Fig. 9 Soldadura en ejecución.	19
Fig. 10 Zonas de un cordón de soldadura.	20
Fig. 11 Los perfiles de temperatura en una chapa de acero dulce.	23
Fig. 12 Esquema de las zonas existentes en la soldadura por fusión.	24
Fig. 13 Proceso de deformación por plegadora.	25
Fig. 14 Proceso de deformación por trenes de laminación en frío.	26
Fig. 15 Secciones estructurales típicas de acero conformado en frío	28
Fig. 16 Miembros de aceros conformados en frío usados en la construcción.	33
Fig. 17 Tipos de soldadura en láminas: (a) de ranura a escuadra, (b) de arco por puntos (soldadura en charco redondo), (c) de arco en costura (soldadura en charco oblongo), (d) de filete, (e) de bisel abocinado, (f) en V abocinada.	35
Fig. 18 Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido	36

Fig. 19 Intensidad de la soldadura en función de la posición. Chapa de 3mm d espesor, soldada en una pasada.....	38
Fig. 20 Longitudes de arcos para un electrodo de diámetro 4mm.	39
Fig. 21 Proceso de soldadura por arco con alambre continuo protegido por gas (GMAW).....	41
Fig. 22 Efecto de algunos gases y mezclas en el contorno y en la penetración del cordón.	42
Fig. 23 Relación entre parámetros, GMAW.	44
Fig. 24 Efecto del extremo libre del alambre manteniendo constante la tensión y la velocidad de alimentación del alambre.....	45
Fig. 25 Etapas del proceso de ensayo por líquidos penetrantes aplicación de a) Penetrante, b) Eliminador; c) Acción de limpieza; d) Revelador; e) Observación	49
Fig. 26 Curvatura del alma (fa).....	55
Fig. 27 Medición de paralelismo entre caras.	55
Fig. 28 Medición de la perpendicularidad de caras.....	56
Fig. 29 ASTM A36, 9.5 mm de espesor, rolada. Su Estructura consiste en ferrita (áreas blancas) y perlita (áreas negras). 1% Nital. 250×.....	58
Fig. 30 Ubicación de probetas para ensayos de tracción en el alma.	62
Fig. 31 dimensiones de la probeta para ensayo de tracción.	62
Fig. 32 Método de designación de ubicación para extracción de probetas.....	64
Fig. 33 Esquema perfil tipo correa "G" y canal "C", para toma de mediciones.	68
Fig. 34 Pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 1	69
Fig. 35 Pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 2	71
Fig. 36 Pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 1.....	72

Fig. 37 Pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 2.....	74
Fig. 38 Pandeo alma sector Sur DMQ muestra 1	75
Fig. 39 Pandeo alma sector Sur DMQ muestra 2.....	77
Fig. 40 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Norte DMQ.....	78
Fig. 41 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Norte DMQ.....	78
Fig. 42 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Norte DMQ.....	79
Fig. 43 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Norte DMQ.....	79
Fig. 44 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Centro DMQ	80
Fig. 45 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Centro DMQ.....	81
Fig. 46 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Centro DMQ.....	81
Fig. 47 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Centro DMQ.....	82
Fig. 48 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Sur DMQ	83
Fig. 49 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Sur DMQ	83
Fig. 50 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Sur DMQ	84
Fig. 51 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Sur DMQ	84
Fig. 52 Tipos Básicos de Juntas Soldadas.....	93
Fig. 53 Tipos de soldaduras.	94
Fig. 54 Soldadura de penetración abierta en "v" (columna, viga) Sector Sur Hilluc.....	97
Fig. 55 Soldadura CJP a tope (columna-viga) Sector Norte-La Carolina.....	97
Fig. 56 Soldadura a filete (conexión columna-viga).....	98
Fig. 57 Soldadura CJP a tope (conexión columna-columna, viga-viga) Sector Sur- Hilluc.....	98
Fig. 58 Soldadura filete (conexión viga principal - viga secundaria) Sector Centro-La Marín	99
Fig. 59 Flujo grama de fabricación	100

Fig. 60 Localización de las muestras para ensayos en una tubería soldada tipo cajón.....	102
Fig. 61 Localización de muestras de ensayo en placas de ensayo de espesor 10mm y menor calificación WPS.	103
Fig. 62 Ensayos de sanidad de soldadura de filete para WPS.....	103
Fig. 63 Muestra de doblado de cara y raíz.	104
Fig. 64 Muestra de la tracción de la sección Reducida.	104
Fig. 65 Diagrama de flujo de inspección visual.....	107
Fig. 66 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso SMAW Norte.....	113
Fig. 67 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Norte.....	113
Fig. 68 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso SMAW Centro.....	116
Fig. 69 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Sur.....	123
Fig. 70 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Sur.....	123
Fig. 71 Diagrama de flujo de técnica líquidos penetrantes.....	124
Fig. 72 Micrografía Norte SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 9 s a 200x.	131
Fig. 73 Micrografía Norte SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.	132
Fig. 74 Micrografía Norte SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.	132

Fig. 75 Micrografía Norte GMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.	133
Fig. 76 Micrografía Norte GMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.	133
Fig. 77 Micrografía Norte GMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.	134
Fig. 78 Micrografía Centro SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 11 s a 200x.	134
Fig. 79 Micrografía Centro SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 10 s a 200x.	135
Fig. 80 Micrografía Centro SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 12 s a 200x.	135
Fig. 81 Micrografía Sur SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.	136
Fig. 82 Micrografía Sur SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.	136
Fig. 83 Micrografía Sur SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.	137
Fig. 84 Micrografía Sur GMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.	137
Fig. 85 Micrografía Sur GMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.	138
Fig. 86 Micrografía Sur GMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.	138

Fig. 87 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga principal-Viga secundaria SMAW Norte DMQ	152
Fig. 88 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga Principal-Viga secundaria SMAW Centro DMQ	153
Fig. 89 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga principal-Viga secundaria SMAW Sur DMQ	154
Fig. 90 Fotografía estructura soldada sector La Marín-Centro del DMQ.....	160
Fig. 91 Mapa para diseño sísmico Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011.....	162
Fig. 92 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Norte DMQ	163
Fig. 93 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Centro DMQ	165
Fig. 94 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Sur DMQ.....	166
Fig. 95 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección Líquidos penetrantes sector Norte DMQ	167
Fig. 96 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección líquidos penetrantes sector Centro DMQ.....	168
Fig. 97 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección líquidos penetrantes sector Sur DMQ	169
Fig. 98 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Norte DMQ	173
Fig. 99 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura GMAW sector Norte DMQ	174

Fig. 100 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Centro DMQ	175
Fig. 101 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Sur DMQ.....	175
Fig. 102 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura GMAW sector Sur DMQ.....	176
Fig. 103 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Norte DMQ	177
Fig. 104 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Centro DMQ	178
Fig. 105 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Sur DMQ	179
Fig. 106 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Norte DMQ.....	180
Fig. 107 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Centro DMQ.....	181
Fig. 108 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Sur DMQ	182

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A: CERTIFICADOS DE CALIDAD.
- ANEXO B: PLANO PROBETA ENSAYO DE TENSIÓN CALIFICACIÓN DEL MATERIAL.
- ANEXO C: ANÁLISIS QUÍMICO POR ESPECTRÓMETRO DE CHISPA.
- ANEXO D: HOJA DE PROCESOS RÉPLICAS.
- ANEXO E: PLANOS REPLICAS ESTRUCTURALES SECTORES DMQ.
- ANEXO F: ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
- ANEXO G: PLANOS EXTRACCIÓN DE PROBETAS EN RÉPLICAS
- ANEXO H: CÁLCULOS COSTOS DE SOLDADURA.

NOMENCLATURA

1G-A:	Posición plana-cordón de soldadura lado A.
1G-AB:	Posición Plana-cordón de soldadura lado AB
1G-B:	Posición plana-cordón de soldadura lado A.
1G-BA:	Posición Plana-cordón de soldadura lado AB
2G-A:	Posición horizontal-cordón de soldadura lado A.
2G-AB:	Posición horizontal-cordón de soldadura lado AB.
2G-B:	Posición horizontal-cordón de soldadura lado B.
2G-BA:	Posición horizontal-cordón de soldadura lado BA.
3F-A:	Posición descendente en filete-cordón de soldadura lado A.
3F-B:	Posición descendente en filete-cordón de soldadura lado B.
4F:	Posición sobre cabeza.
A:	Angulo del surco o bisel.
Ac:	Número de aceptación.
AEND:	Asociación Española de Ensayos No Destructivos.
AISI:	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de Hierro y Acero).
AR:	Abertura de raíz.
ASD:	Allowable Stress Design (Diseño por esfuerzos permisibles).
ASM:	American Society for Metals (Sociedad Americana de Metales).
ASTM:	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
AWS D1.1:	Structural Welding Code – Steel (Código de Soldadura Estructural-Acero).
AWS D1.3:	Structural Welding Code-Sheet Steel (Código de Soldadura Estructural-Hoja de Acero).
AWS D1.8:	Structural-Welding-Code Seismic (Código de Soldadura Estructural-Sísmico).
AWS:	American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura).
CCDA-1:	Probeta de doblado de cara Centro Columna lado A.
CCDA-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Columna lado A.

CCDAB-E:	Probeta de doblado de cara Centro Columna Extensión lado AB.
CCDA-E:	Probeta de doblado de cara Centro Columna Extensión lado A.
CCDB-1:	Probeta de doblado de cara Centro Columna lado B.
CCDB-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Columna lado B.
CCDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Columna Extensión lado BA.
CCDB-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Columna Extensión lado B.
CCTA:	Probeta de tensión Centro Columna lado A.
CCTA-E:	Probeta de tensión Centro Columna Extensión lado A.
CCTB:	Probeta de tensión Centro Columna lado B.
CCTB-E:	Probeta de tensión Centro Columna Extensión lado B.
CC-VPA:	Probeta #1 Macro-Ataque Centro Columna-Viga Principal.
CC-VPB:	Probeta #2 Macro-Ataque Centro Columna-Viga Principal.
CC-VPC:	Probeta #3 Macro-Ataque Centro Columna-Viga Principal.
CJP:	Complete joint penetration (Junta de penetración completa).
CSA:	Área de la sección transversal.
CSEEDMQ:	Planos extracción probetas proceso SMAW sector Centro del DMQ.
CVN:	Ensayo de impacto.
CVPDA-1:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Principal lado A.
CVPDA-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Principal lado A.
CVPDAB-E:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Principal Extensión lado AB.
CVPDA-E:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Principal Extensión lado A.
CVPDB-1:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Principal lado B.
CVPDB-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Principal lado B.
CVPDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Principal Extensión lado BA.
CVPDB-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Principal Extensión lado B.
CVPTA:	Probeta de tensión Centro Viga Principal lado A.
CVPTA-E:	Probeta de tensión Centro Viga Principal Extensión lado A.

CVPTB:	Probeta de tensión Centro Viga Principal lado B.
CVPTB-E:	Probeta de tensión Centro Viga Principal Extensión lado B.
CVP-VSA	Probeta #1 Macro-Ataque Centro Viga Principal-Viga Secundaria.
CVP-VSB:	Probeta #2 Macro-Ataque Centro Viga Principal-Viga Secundaria.
CVP-VSC:	Probeta #3 Macro-Ataque Centro Viga Principal-Viga Secundaria.
CVSDA-1:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Secundaria lado A.
CVSDA-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Secundaria lado A.
CVSDAB-E:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Secundaria Extensión lado AB.
CVSDA-E:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Secundaria Extensión lado A.
CVSDB-1:	Probeta de doblado de cara Centro Viga Secundaria lado B.
CVSDB-2:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Secundaria lado B.
CVSDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Secundaria Extensión lado BA.
CVSDB-E:	Probeta de doblado de raíz Centro Viga Secundaria Extensión lado B.
CVSTA:	Probeta de tensión Centro Viga Secundaria lado A.
CVSTA-E:	Probeta de tensión Centro Viga Secundaria Extensión lado A.
CVSTB:	Probeta de tensión Centro Viga Secundaria lado B.
CVSTB-E:	Probeta de tensión Centro Viga Secundaria Extensión lado B.
DL:	Discontinuidad longitudinal.
DMQ:	Distrito Metropolitano de Quito.
DT:	Discontinuidad transversal.
E:	Módulo de Elasticidad.
ED:	Ensayos Destructivos.
EE:	Energía Eléctrica
END:	Ensayos no Destructivos.
E_t :	Módulo Tangente.
F:	Fisuras.
FCAW:	Flux-cored arc welding (Soldadura por alambre tubular).

FE:	Fisura de esquina.
F_u :	Resistencia a la tracción.
F_y :	Limite de Fluencia o Elasticidad.
GMAW:	Gas Metal Arc Welding (Soldadura por arco eléctrico con gas).
GTAW:	Gas tungsten arc welding (Soldadura de arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas de protección).
HIC:	The hydrogen-induced cracking (Fisuración inducida por hidrógeno).
Inch:	inches (pulgadas).
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
Ksi:	Kilo pound per square inches (Kilo libra sobre pulgada cuadrada).
LMM:	Laboratorio de Mecánica de Materiales
LRFD:	Load and resistance factor design (Diseño por factor de carga y resistencia).
LSD:	Limite de estados de diseño.
M.O.:	Mano de Obra
MCSC:	Probeta Micrografía Centro Columna.
MCSVP:	Probeta Micrografía Centro Viga Principal.
MCSVS:	Probeta Micrografía Centro Viga Secundaria.
mm:	milímetros.
MNGC:	Probeta Micrografía Norte GMAW Columna.
MNGVP:	Probeta Micrografía Norte GMAW Viga Principal.
MNGVS:	Probeta Micrografía Norte GMAW Viga Secundaria.
MNSC:	Probeta Micrografía Norte SMAW Columna.
MNSVP:	Probeta Micrografía Norte SMAW Viga Principal.
MNSVS:	Probeta Micrografía Norte SMAW Viga Secundaria.
MSGC:	Probeta Micrografía Sur GMAW Columna.
MSGVP:	Probeta Micrografía Sur GMAW Viga Principal.
MSGVS:	Probeta Micrografía Sur GMAW Viga Secundaria.
MSSC:	Probeta Micrografía Sur SMAW Columna.
MSSVP:	Probeta Micrografía Sur SMAW Viga Principal.
MSSVS:	Probeta Micrografía Sur SMAW Viga Secundaria.
NC-VPA:	Probeta #1 Macro-Ataque Norte Columna-Viga Principal.

NC-VPB:	Probeta #2 Macro-Ataque Norte Columna-Viga Principal.
NC-VPC:	Probeta #3 Macro-Ataque Norte Columna-Viga Principal.
NGCDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Columna lado A.
NGCDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Columna lado A.
NGCDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Columna lado B.
NGCDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Columna lado B.
NGCTA:	Probeta de tensión Norte GMAW Columna Extensión lado A.
NGCTB:	Probeta de tensión Norte GMAW Columna Extensión lado B.
NGEEDMQ:	Planos extracción probetas proceso GMAW sector Norte del DMQ.
NGVPDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Viga Principal lado A.
NGVPDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Viga Principal lado A.
NGVPDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Viga Principal lado B.
NGVPDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Viga Principal lado B.
NGVPTA:	Probeta de tensión Norte GMAW Viga Principal Extensión lado A.
NGVPTB:	Probeta de tensión Norte GMAW Viga Principal Extensión lado B.
NGVSDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Viga Secundaria lado A.
NGVSDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Viga Secundaria lado A.
NGVSDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte GMAW Viga Secundaria lado B.
NGVSDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte GMAW Viga Secundaria lado B.
NGVSTA:	Probeta de tensión Norte GMAW Viga Secundaria Extensión lado A.
NGVSTB:	Probeta de tensión Norte GMAW Viga Secundaria Extensión lado A.

NSCDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Columna lado A.
NSCDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Columna lado A.
NSCDAB-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Columna Extensión lado AB.
NSCDA-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Columna Extensión lado A.
NSCDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Columna lado B.
NSCDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Columna lado B.
NSCDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Columna Extensión lado BA.
NSCDB-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Columna Extensión lado B.
NSCTA:	Probeta de tensión Norte SMAW Columna lado A.
NSCTA-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Columna Extensión lado A.
NSCTB:	Probeta de tensión Norte SMAW Columna lado B.
NSCTB-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Columna Extensión lado B.
NSEEDMQ:	Planos extracción probetas proceso SMAW sector Norte del DMQ.
NSVPDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Principal lado A.
NSVPDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Principal lado A.
NSVPDAB-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Principal Extensión lado AB.
NSVPDA-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Principal Extensión lado A.
NSVPDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Principal lado B.
NSVPDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Principal lado B.
NSVPDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Principal Extensión lado BA.
NSVPDB-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Principal Extensión lado B.

NSVPTA:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Principal lado A.
NSVPTA-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Principal Extensión lado A.
NSVPTB:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Principal lado B.
NSVPTB-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Principal Extensión lado B.
NSVSDA-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Secundaria lado A.
NSVSDA-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Secundaria lado A.
NSVSDAB-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado AB.
NSVSDA-E:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado A.
NSVSDB-1:	Probeta de doblado de cara Norte SMAW Viga Secundaria lado B.
NSVSDB-2:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Secundaria lado A.
NSVSDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado BA.
NSVSDB-E:	Probeta de doblado de raíz Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado B.
NSVSTA:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Secundaria lado A.
NSVSTA-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado A.
NSVSTB:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Secundaria lado B.
NSVSTB-E:	Probeta de tensión Norte SMAW Viga Secundaria Extensión lado B.
NVP-VSA:	Probeta #1 Macro-Ataque Norte Viga Principal-Viga Secundaria.
NVP-VSB:	Probeta #2 Macro-Ataque Norte Viga Principal-Viga Secundaria.
NVP-VSC:	Probeta #3 Macro-Ataque Norte Viga Principal-Viga Secundaria.

PJP:	Partial joint penetration (Junta de penetración parcial).
PMD:	Peso del material depositado.
Psi:	Pounds per square inches (libras sobre pulgada cuadrada).
PT:	Penetrant Testing (Ensayo de tintas penetrantes).
PWHT:	Postweld heat treatment (Tratamiento térmico post soldadura).
R:	Radio (en la junta de brote en V).
R:	Rotura.
RCSDMQ:	Planos réplica proceso SMAW sector Centro del DMQ.
Re:	Número de rechazo.
RNGDMQ:	Planos réplica proceso GMAW sector Norte del DMQ.
RNSDMQ:	Planos réplica proceso SMAW sector Norte del DMQ.
RSGDMQ:	Planos réplica proceso GMAW sector Sur del DMQ.
RSSDMQ:	Planos réplica proceso SMAW sector Sur del DMQ.
S:	Tamaño de pierna de filete.
SAW:	Submerged arc welding (Soldadura por Arco Sumergido).
SC-VPA:	Probeta #1 Macro-Ataque Sur Columna-Viga Principal.
SC-VPB:	Probeta #2 Macro-Ataque Sur Columna-Viga Principal.
SC-VPC:	Probeta #3 Macro-Ataque Sur Columna-Viga Principal.
SGCDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Columna lado A.
SGCDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Columna lado A.
SGCDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Columna lado B.
SGCDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Columna lado B.
SGCTA:	Probeta de tensión Sur GMAW Columna lado A.
SGCTB:	Probeta de tensión Sur GMAW Columna lado B.
SGEEDMQ:	Planos extracción probetas proceso GMAW sector Sur del DMQ.
SGVPDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Viga Principal lado A.
SGVPDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Viga Principal lado A.
SGVPDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Viga Principal lado B.
SGVPDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Viga Principal lado B.
SGVPTA:	Probeta de tensión Sur GMAW Viga Principal lado A.
SGVPTB:	Probeta de tensión Sur GMAW Viga Principal lado B.
SGVSDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Viga Secundaria lado A.

SGVSDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Viga Secundaria lado A.
SGVSDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur GMAW Viga Secundaria lado B.
SGVSDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur GMAW Viga Secundaria lado B.
SGVSTA:	Probeta de tensión Sur GMAW Viga Secundaria lado A.
SGVSTB:	Probeta de tensión Sur GMAW Viga Secundaria lado B.
SMAW:	Shield Metal Arc Welding (Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido).
SSCDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Columna lado A.
SSCDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Columna lado A.
SSCDAB-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Columna Extensión lado AB.
SSCDA-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Columna Extensión lado A.
SSCDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Columna lado B.
SSCDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Columna lado B.
SSCDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Columna Extensión lado BA.
SSCDB-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Columna Extensión lado B.
SSCTA:	Probeta de tensión Sur SMAW Columna lado A.
SSCTA-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Columna Extensión lado A.
SSCTB:	Probeta de tensión Sur SMAW Columna lado B.
SSCTB-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Columna Extensión lado B.
SSEEDMQ:	Planos extracción probetas proceso SMAW sector Sur del DMQ.
SSVPDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Principal lado A.
SSVPDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Principal lado A.
SSVPDAB-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Principal Extensión lado AB.
SSVPDA-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Principal Extensión lado A.

SSVPDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Principal lado B.
SSVPDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Principal lado B.
SSVPDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Principal Extensión lado BA.
SSVPDB-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Principal Extensión lado B.
SSVPTA:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Principal lado A.
SSVPTA-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Principal Extensión lado A.
SSVPTB:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Principal lado B.
SSVPTB-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Principal Extensión lado B.
SSVSDA-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Secundaria lado A.
SSVSDA-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Secundaria lado A.
SSVSDAB-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado AB.
SSVSDA-E:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado A.
SSVSDB-1:	Probeta de doblado de cara Sur SMAW Viga Secundaria lado B.
SSVSDB-2:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Secundaria lado B.
SSVSDBA-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado BA.
SSVSDB-E:	Probeta de doblado de raíz Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado B.
SSVSTA:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Secundaria lado A.
SSVSTA-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado A.
SSVSTB:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Secundaria lado B.
SSVSTB-E:	Probeta de tensión Sur SMAW Viga Secundaria Extensión lado B.

SVP-VSA:	Probeta #1 Macro-Ataque Sur Viga Principal-Viga Secundaria.
SVP-VSB:	Probeta #2 Macro-Ataque Sur Viga Principal-Viga Secundaria.
SVP-VSC:	Probeta #3 Macro-Ataque Sur Viga Principal-Viga Secundaria.
T:	Espesor.
UFFAA-ESPE:	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
WPS:	Welding Procedure Specification (Especificación de Proceso de Soldadura).
ZAC:	Zona afectada por el calor.
ZRf :	Zona recristalizada de grano fino.
ZRg :	Zona recristalizada de grano grueso.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en el que se analizaron varias obras de estructura metálica construidas con perfiles conformados en frío. Por tanto, el propósito del presente proyecto consistió en la evaluación del comportamiento mecánico de las juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío, destinado para viviendas de hasta 3 pisos dentro del DMQ. Para ello, fue necesario analizar el material base conformado en frío, tipos de juntas soldadas, procesos de soldadura utilizados, tipos de estructuras metálicas, normas utilizadas tanto del material como de los procesos de soldadura. Luego se determinó, por medio de ensayos mecánicos y metalográficos, qué tipo de material se está usando en construcciones metálicas. Adicionalmente, se construyeron réplicas estructurales donde se extrajeron probetas para la realización de ensayos mecánicos destructivos y no destructivos en laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. En estas pruebas se analizaron los resultados obtenidos donde se estableció la afectación en las propiedades mecánicas producidas por la soldadura y por ultimo permitió conocer la calidad e impacto de los procedimientos aplicados en construcciones de estructuras metálicas.

Palabras clave: Soldadura, estructuras metálicas, perfiles conformados en frío, viviendas y Distrito Metropolitano de Quito.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. GENERALIDADES

La finalidad de este documento es presentar resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidos del análisis detallado de juntas soldadas en perfiles conformados en frío en aceros de bajo carbono ASTM A36, usados comúnmente en estructuras metálicas construidas para viviendas dentro del DMQ. El estudio contiene bases teóricas tales como:

- Estudios de estructuras metálicas, necesarios para el diseño e implementación para su construcción;
- Ciencia de los materiales. Relación que existe entre la micro estructura y las propiedades físicas y tecnológicas de los materiales de acero de bajo carbón, siendo la base del estudio realizado, ya que de ello depende la calidad de los materiales y la facilidad que presenten para el proceso de soldadura;
- Soldadura, proceso más importante y casi exclusivo, utilizado para estructuras metálicas. Analizamos los tipos de procesos y juntas más usadas de una manera efectiva;
- Mecánicas de materiales, determinamos las propiedades mecánicas de los perfiles conformados en frío desde su recepción por compra, hasta su uso final que será formar parte de una estructura metálica.

Para esto, realizamos réplicas estructurales de sus juntas soldadas, para lo cual se comparó el mismo material conformado en frío que se está usando en las construcciones de estructuras metálicas destinadas para viviendas en los diferentes

sectores del DMQ, con sus respectivas dimensiones, soldadores y procesos de soldadura.

Hoy en día, los estudios en el DMQ acerca de los perfiles conformados en frío son escasos, y no cuentan con la suficiente sustentación técnica básica para implementarlos de manera confiable en la construcción de estructuras metálicas, refiriéndonos al estudio de soldadura en perfiles conformados en frío, es decir verificar que las propiedades mecánico metalúrgicas en la soldadura de dichos perfiles, cumplan los requisitos necesarios para obtener una estructura sin falencias.

Si existe un material característico que el público en general asocia con construcciones de acero, son los perfiles de acero estructural, los que son resistentes y pueden ser conformados fácilmente. Su gran plasticidad o capacidad para experimentar deformación permanente frente a cargas súbitas o elevadas, es un factor importante que le permite ser tomado en cuenta.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La utilización de perfiles conformados en frío para estructuras metálicas, se encuentra actualmente en el DMQ en una fase de rápido crecimiento, en virtud de las diversas ventajas que ofrece el empleo de estos perfiles. Su estructura liviana, tiempo de instalación, así como los costos relativamente bajos en comparación con otros materiales, hacen que la utilización de los perfiles conformados en frío sean cada vez mayor y por ende debe existir un control más prolijo y exigente a la hora de producir dichos perfiles como también al momento de emplearlos en la fabricación de estructuras metálicas para viviendas, más aún cuando existe un problema latente por

la carencia de normas nacionales en nuestro idioma que regulen dichos procedimientos de acuerdo a exigencias geológico ambientales de nuestro entorno.

Por tanto, los procedimientos de ejecución y uso de materiales en las construcciones metálicas con perfiles conformados en frío, impiden la aplicación de las normas que rigen el dimensionamiento de los perfiles laminados en caliente, por tanto, se deben usar normas específicamente para aceros conformados en frío como la norma internacional AISI (American Iron and Steel Institute). Por este motivo, este estudio verificó los materiales y procedimientos de soldadura, identificándose las falencias que pueden suceder al momento de ejecutar una soldadura en perfiles conformados en frío de una estructura metálica de viviendas de hasta 3 pisos.

1.3. ANTECEDENTES

El uso de estructuras de acero plegado o conformado en frío data de antes de 1850 en los Estados Unidos. Después de la primera especificación publicada por el American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y del Acero, AISI) en 1946, el acero conformado en frío se convirtió en el más usado y aceptado ampliamente como material para la fabricación de estructuras, siendo en la actualidad uno de los principales materiales de construcción.

El acero conformado en frío es comúnmente encontrado como material lineal en forma de perfiles, o de superficie en forma de placas. En los últimos 40 años, las piezas de estructuras de acero conformado en frío, tales como secciones lineales y de revestimientos, han sido y continúan siendo usados, con un considerable porcentaje

de crecimiento en el sector industrial. De hecho, su uso también se hizo extensivo en el mercado residencial, en el que es encontrando frecuentemente.

El uso de piezas estructurales de acero conformado en frío en construcciones residenciales se ha vuelto una alternativa viable a la tradicional viga construida en madera, y, en algunos casos a la viga de hormigón. El uso de productos de acero conformado en frío en la construcción de casas residenciales, tanto en Estados Unidos como en Canadá, ha ganado un impulso de amplia expansión en años recientes. Solamente en EE.UU., se construyen por año, aproximadamente 1,4 millones de viviendas que emplean este tipo de material.

Inicialmente, proyectistas y constructores eran renuentes a usar acero conformado en frío en la construcción residencial, porque no estaban familiarizados con el material, en comparación a las vigas construidas en madera. Sin embargo, esto ha cambiado drásticamente en los recientes años con el establecimiento del “Residential Advisory Group” (Grupo de Consultoría Residencial) en 1992 por el AISI. Este grupo, en un período de tiempo relativamente corto, ha producido un número importante de documentos, los cuales proveen información para el proyectista y el constructor respecto del uso de productos de acero conformado en frío en construcciones residenciales. Estos documentos están todos contenidos en el “Residential Steel Framing Manual” (Manual del Forjado de Acero Residencial), para Arquitectos, Ingenieros y Constructores, publicado por el AISI.

En la soldadura, el flujo del fluido del material de aporte fundido afecta la distribución de temperaturas en el material base, la forma y tamaño del charco, el

proceso de solidificación, velocidad de enfriamiento y las cinéticas de transformación de estado líquido a sólido, afectan el metal de soldadura y la zona afectada por el calor.

Además, la absorción y la desorción de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno afectan al metal de la soldadura y al material base en su microestructura, y por ende sus propiedades mecánicas. En los perfiles conformados en frío, la variación de temperatura con el tiempo afecta principalmente a la evolución micro estructural, creando tensiones residuales y distorsiones en la soldadura.

Con el fin de mejorar algunas de sus propiedades, puede contener también otros elementos. Una de sus características es admitir el temple, lo que aumenta su dureza y resistencia mecánica.

Las propiedades principales que un acero debe cumplir para ser utilizado en una construcción son la plasticidad, resistencia a la tracción, alargamiento, estricción, resistencia a la compresión y, a la fluencia, entre otras.

Además de las aplicaciones de sus productos en la construcción, la industria siderúrgica representa una de las bases sobre las que se asientan las economías de los países productores. Su importancia se refleja en el aumento tanto del volumen de producción como en el número de países productores.

A los ingenieros mecánicos nos interesa estudiar el comportamiento del material después de ser soldado, ya que el área afectada por la soldadura se vuelve una zona

crítica al usar perfiles conformados en frío, debido a que de tal área depende la estabilidad y la resistencia sísmica se llegue a tener, y más aún en medios como estudiado, considerado zona de alto riesgo sísmico.

Diversos estudios realizados sobre la sismo-resistencia establecen que las estructuras deben estar capacitadas para resistir en el rango elástico, es decir, que el comportamiento del material debe ser tal que disipe cantidades significativas de energía sin pasar de la zona elástica a la zona plástica.

Las construcciones con acero conformado en frío deben seguir la norma internacional AISI S100. Esta norma requiere el uso de aceros destinados a aplicaciones estructurales, tal como se definen en general, por las especificaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y materiales ASTM.

Los materiales conformados en frío deben cumplir con las propiedades mecánicas estipuladas en la norma. La relación de resistencia a la tracción para producir la tensión no será inferior a 1,08, y el total alargamiento no deberá ser inferior a 10 por ciento para una longitud de calibre de dos pulgadas (50 mm), de acuerdo con la norma ASTM A370

La búsqueda de mejoramiento constante nos posibilita estudiar los diferentes procesos que permitan el mejoramiento de los productos que la industria de la construcción ecuatoriana ofrece actualmente, así como el ingreso a mercados más competitivos, con altos estándares de calidad y un alto grado de eficiencia.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

Este estudio parte del análisis de los materiales utilizados. Uno de los objetivos es determinar la calidad de materiales disponibles en nuestro medio. Para ello, se identificará el cumplimiento de las normas estipuladas, de acuerdo a sus propiedades mecánicas. Una de las tareas es la calificación del material más usado, ASTM A36, que será el material base para elaborar los perfiles conformados en frío, y por ende las juntas soldadas para viviendas de hasta 3 pisos.

Nuestro estudio analizará los tipos de juntas soldadas con perfiles comúnmente conformados en frío, con espesores de 2 a 6 milímetros usados en el Distrito Metropolitano de Quito para la construcción de edificaciones para viviendas con estructuras metálicas.

En este proceso, se ejecutaron ensayos destructivos de tracción y doblado; ensayos no destructivos de inspección visual y de líquidos penetrantes. También se practicaron ensayos metalúrgicos antes y después de la soldadura en las principales juntas usadas en las estructuras metálicas para edificaciones con perfiles de acero conformado en frío, considerando sus distintos procesos de soldadura usados comúnmente, aplicados tanto en taller como en montaje, realizado por un soldador con experiencia en construcciones metálicas para viviendas. Los procesos en los que nos centramos son SMAW y GMAW.

Al analizar dichas juntas y comprobar su seguridad y eficiencia, se aportaría para la estandarización de normas, control e inspección de soldadura en construcciones metálicas para viviendas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar el comportamiento mecánico de las juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío utilizados en estructuras metálicas, destinadas para viviendas de hasta 3 pisos para el DMQ.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el material base del conformado en frío, juntas soldadas, procesos de soldadura, ensayos mecánicos, tipos de miembros estructurales utilizadas en vivienda, normas utilizadas sobre acero A36 conformado en frío.
- Determinar qué tipo de material se está usando en las construcciones de viviendas en el DMQ. En base de ensayos mecánicos y metalográficos, por medio de visitas a constructores.
- Identificar los tipos de juntas soldadas en la construcción de viviendas de hasta 3 pisos y analizar la influencia de los procesos de soldadura comúnmente usados según normas aplicables.
- Construir probetas para la realización de ensayos mecánicos destructivos y no destructivos, en laboratorios especializados para determinar su comportamiento mecánico.
- Analizar los resultados obtenidos para establecer la afectación de las propiedades mecánicas producidos por la soldadura, con lo que se determinará el impacto en los procedimientos de construcción sobre las estructuras metálicas que se edifiquen en el DMQ.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

ESTRUCTURALES

Las propiedades de los materiales juegan un papel importante en el comportamiento y rendimiento de los elementos estructurales. Es importante la familiarización con las propiedades mecánicas de los aceros para la construcción, y para nuestro caso el acero ASTM A36 (acero estructural al carbono), que es el más usado en el DMQ.

Desde un punto de vista estructural, las propiedades más importantes del acero son:

1. Límite de elasticidad o resistencia a la fluencia
2. Resistencia a la tracción
3. Esfuerzo - deformación características
4. Módulo de elasticidad
5. Plasticidad
6. Soldabilidad
7. Doblado

2.1.1. LÍMITE DE ELASTICIDAD, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, Y CURVA ESFUERZO –DEFORMACIÓN.

La resistencia en elementos estructurales de acero al carbono (ASTM A36) conformados en frío, dependen en el límite de elasticidad o resistencia a la fluencia.

Hay dos tipos generales de curvas esfuerzo-deformación, como se muestra en la Fig. 1. Tipo 1, curva con fluencia pronunciada (Fig. 1-a) y tipo 2, curvas con fluencia gradual (Fig. 1-b).

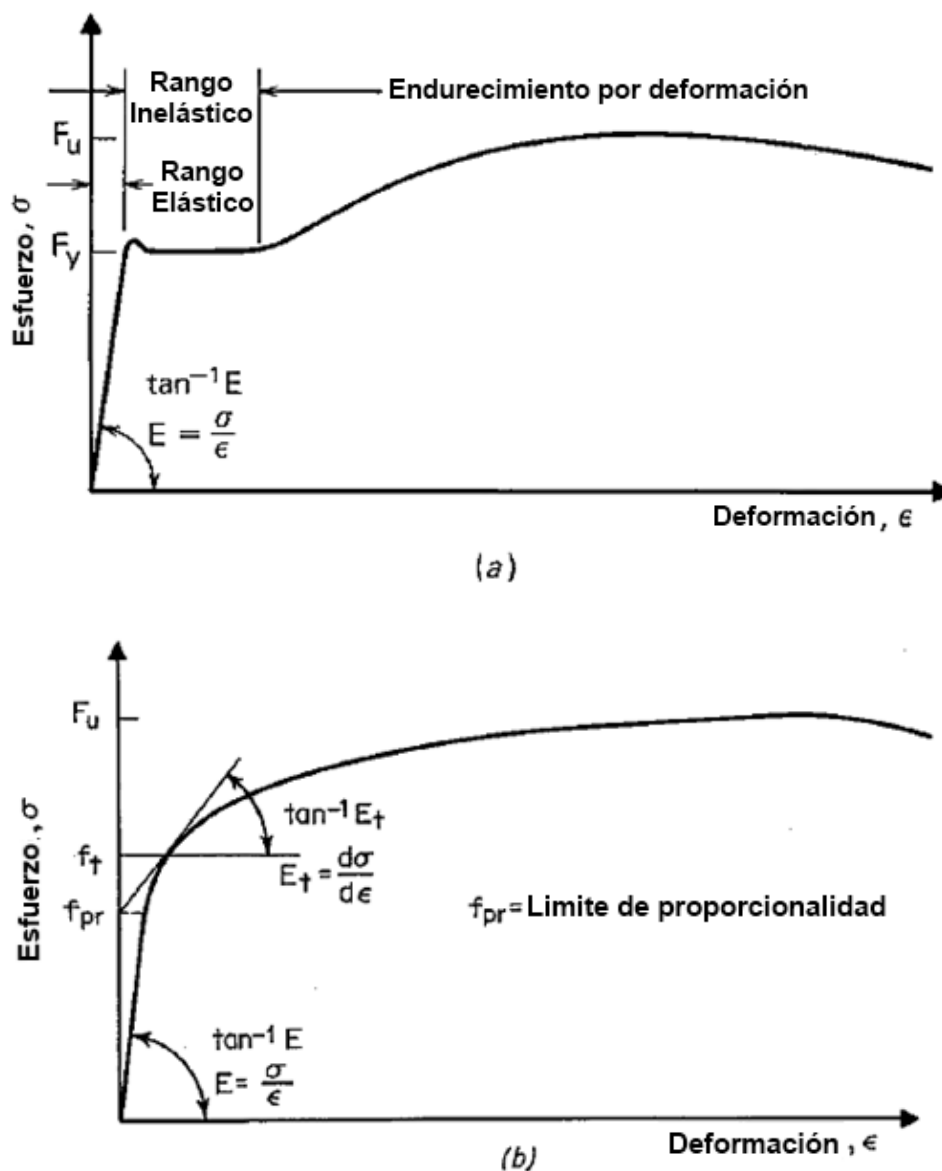


Fig. 1 Curva esfuerzo deformación del acero al carbono (a) curva con fluencia pronunciada (b) curvas con fluencia gradual.

Fuente: Cold-formed steel design, Wei-Wen Yu, PH.d., P.E., Figura 2.1

Aceros que son trabajados en frío muestran curvas con fluencia gradual. Para aceros con fluencia gradual, la curva esfuerzo-deformación está alrededor del final de la “rodilla” y la resistencia a la fluencia se determina por el método de compensación (ver Fig. 2).

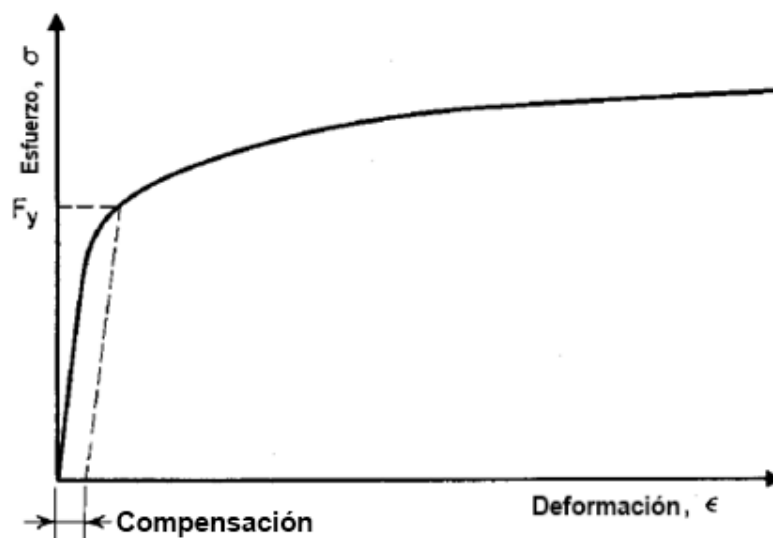


Fig. 2 Determinación del límite de fluencia en curvas con fluencia gradual, método de compensación

Fuente: Cold-formed steel design, Wei-Wen Yu, PH.d., P.E., Figura 2.2

En el método de compensación, se traza una línea paralela a la línea inicial de esfuerzo-deformación con una compensación usualmente del 0,2%, debido a la deformación elástica máxima. Siendo la intersección de dicha línea paralela con la curva esfuerzo-deformación (véase Fig. 2), el límite de fluencia (F_y).

2.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y MÓDULO TANGENTE

2.1.2.1. Módulo de Elasticidad (E) en aceros conformado en frío

El módulo de elasticidad está definido por la pendiente de la línea recta inicial en la curva esfuerzo-deformación (ver Fig. 1b).

2.1.2.2. Modulo Tangente E_t

Para la curva con fluencia gradual, $E_t = E$ solo hasta el límite proporcional, una vez que exceda el límite proporcional, el módulo tangente se va reduciendo progresivamente en comparación con el inicial (ver Fig. 1b).

2.1.3. PLASTICIDAD

Es la capacidad que tiene un metal para no romperse frente a una carga, soportando una deformación permanente.

2.1.4. DUCTILIDAD

Se define como la capacidad que tiene un material para deformarse plásticamente, sea en forma de hilos o varillas, antes de llegar a la ruptura. La fragilidad es lo contrario a ductilidad.

2.1.5. MALEABILIDAD

Es la capacidad de un metal para ser deformado plásticamente, ya sea laminado o labrado en forma de platinas o planchas, es decir, la capacidad de los materiales para deformarse permanentemente sin romperse bajo cargas de compresión. Está relacionada directamente con la plasticidad, pero no depende tanto de la resistencia como la ductilidad.

2.1.6. SOLDABILIDAD

Aptitud que tiene un metal para poder ser soldado mediante los diversos procesos de soldadura sin sufrir fisuración en frío.

Para analizar la soldadura de perfiles conformados en frío usamos el “Código de soldadura estructural” (AWS D1.1) y “Código de soldadura estructural – Hojas de acero” (AWS D1.3), provistos por las normas para los procesos de soldadura SMAW y GMAW.

2.1.6.1. Carbono equivalente

El carbono equivalente relaciona la velocidad máxima a la cual una soldadura y la placa adyacente pueden enfriarse después de soldar, sin que ocurra temple y agrietamiento. Cuanto más alto sea el carbono equivalente, menor será la velocidad de enfriado admisible. La ecuación 1 muestra el carbono equivalente para el proceso de soldadura:

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

Ec. 1

Dónde:

C: Contenido de carbono, %.

Mn: Contenido de manganeso, %.

Si: Contenido de silicio, %.

Cr: Contenido de cromo, %.

Mo: Contenido de Molibdeno, %.

V: Contenido de Vanadio, %.

Ni: Contenido de níquel, %.

Cu: Contenido de Cobre, %.

2.1.7. DOBLADO

El doblado no solo se usa para formar elementos estructurales, bridas y uniones, sino también para impartir rigidez a la pieza, aumentando el endurecimiento por deformación en la zona doblada como se puede observar en la Fig. 3.

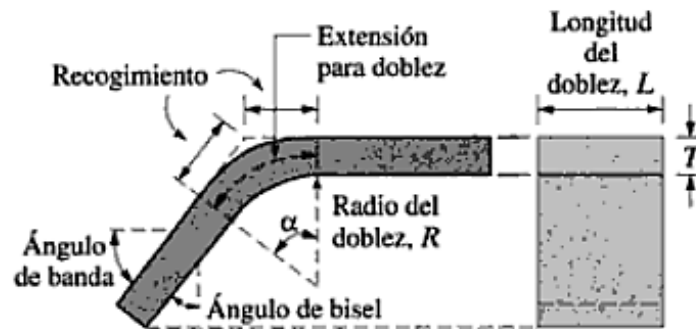


Fig. 3 Terminología del doblado.

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, Kalpakjian y Schmid, Fig. 16.16

Nótese que, en el doblado, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión (ver Fig. 4.). A causa de la relación de Poisson, el ancho de la pieza (longitud de doblado. L) en relación al ancho original, la región externa es menor, y en la interna es mayor.

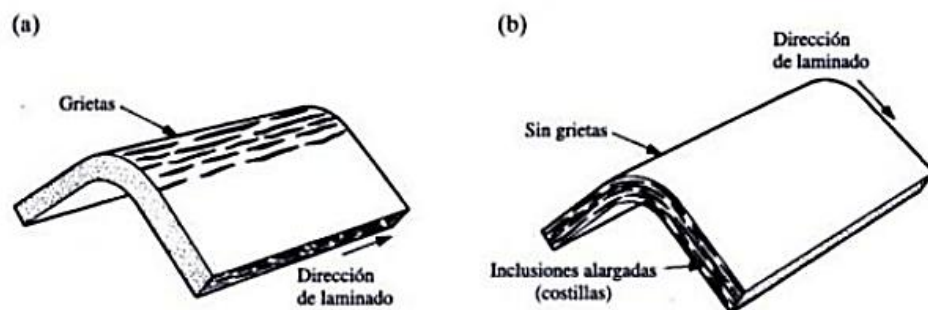


Fig. 4 Efecto de inclusiones sobre el agrietamiento.

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, Kalpakjian y Schmid, Fig. 16.17

Como todos los materiales tienen un módulo de elasticidad finito, al pasar a la etapa de deformación plástica, y al eliminar la carga aplicada, el material exhibirá algo de la recuperación elástica (ver Fig. 5). En el doblado a esta recuperación se le llama restitución o recuperación.

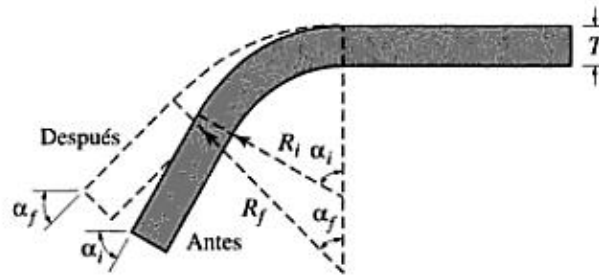


Fig. 5 Restitución en el doblado.

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, Kalpakjian y Schmid, Fig. 16.19

2.1.8. INFLUENCIA DEL CONFORMADO EN FRÍO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de los aceros conformados en frío son diferentes antes de ser conformados. Esto se debe a que el conformado en frío incrementa el límite de elasticidad y resistencia a la tracción y al mismo tiempo se reduce la maleabilidad. Las propiedades mecánicas son distintas en las diferentes secciones del elemento, ya que consta con secciones deformadas y partes planas sin deformar, como se puede observar en la Fig. 6.

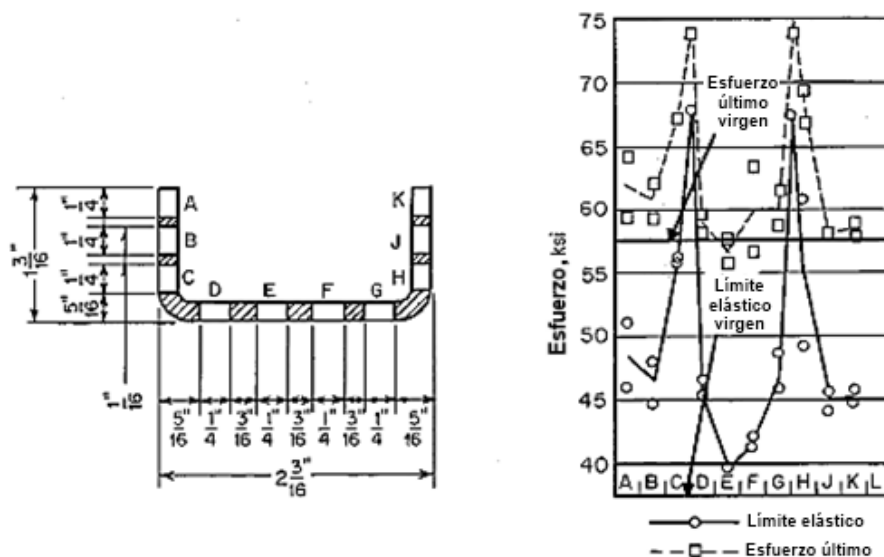


Fig. 6 Efectos del conformado en frío en las propiedades mecánicas en sus diferentes secciones.

Fuente: Cold-formed steel design, Wei-Wen Yu, PH.d., P.E., Figura 2.3a

Los cambios de las propiedades mecánicas en el conformado en frío son causados por el endurecimiento y envejecimiento por deformación.

En la Fig. 7, la curva A representa el esfuerzo por deformación en el material virgen; la curva B se debe al efecto de endurecimiento por deformación. La curva C representa la recarga inmediata y la curva D es el esfuerzo por deformación de recarga después del envejecimiento por deformación.

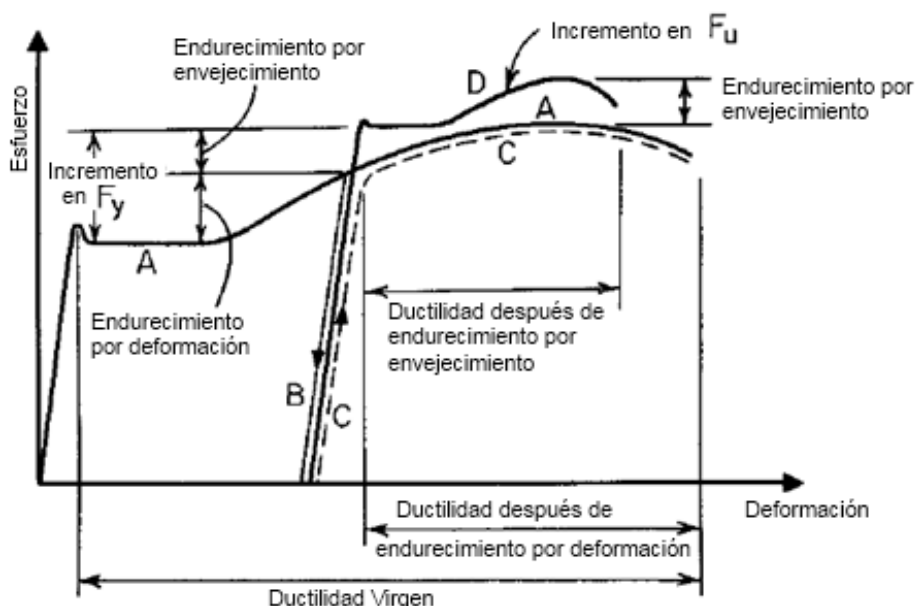


Fig. 7 Efectos de endurecimiento y envejecimiento por deformación.

Fuente: Cold-formed steel design, Wei-Wen Yu, PH.d., P.E., Figura 2.4

2.1.9. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES

MECÁNICAS

Los aceros estructurales pueden ser recocidos para aliviar los esfuerzos inducidos por el trabajo en frío o en caliente (ver Fig. 8a). Además, a veces el recocido se utiliza para suavizar el metal con el fin de mejorar su conformación o su maquinabilidad, por recristalización del material.

El recocido implica austenitizar el acero, calentándolo por encima de la línea de temperatura A3 (límite inferior de la región austenítica para aceros de bajo contenido de carbono comprende entre los 770°C y 910°C), luego enfriándolo lentamente, por lo general en el mismo horno. Este tratamiento mejora la maleabilidad, pero disminuye la resistencia a la tensión y el punto de cedencia. Como resultado, puede ser necesario un tratamiento térmico adicional para mejorar estas propiedades al final del conformado.

Un tratamiento térmico posible es la normalización (ver Fig. 8b), que consiste en calentar el acero por encima de la línea de temperatura de austenización A3 y luego enfriar el metal en aire quieto. De este modo, la velocidad de enfriamiento es mayor que en el recocido. La práctica consiste en normalizar entre 37 y 66°C por encima de la temperatura crítica. Temperaturas más altas engrosan los granos. La normalización tiende a mejorar la tenacidad al disminuir las temperaturas de transición de ductilidad y de fractura. Las placas gruesas se benefician más de este tratamiento que las delgadas.

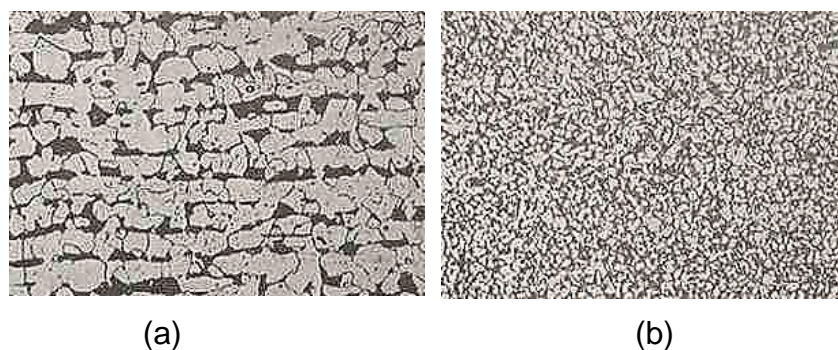


Fig. 8 Microestructura a 250 X (a) Laminado en caliente, (b) Normalizado.

Fuente: Apuntes metalurgia de la soldadura Ing. Gabriel Orozco T.

2.1.10. EFECTOS DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO.

La composición química determina muchas características de los aceros importantes en aplicaciones de construcción. Las especificaciones de la ASTM para el acero A36 se pueden observar en la tabla 1, que señala los límites máximos y mínimos de los elementos químicos de aleación que deben aparecer en los informes de los análisis de la colada y del producto que pueden diferir un poco.

- **Carbón:** Es el principal elemento que aumenta la resistencia en los aceros. En general, cada 0,01% de aumento en el contenido de carbono aumenta el punto de cedencia en cerca de $0,5 \text{ klb/pulg}^2$, aumentando la dureza y reduciendo la plasticidad, tenacidad y soldabilidad.
- **Manganeso:** Disminuye las temperaturas de transición en tratamientos térmicos.
- **Fosforo:** Aumenta la resistencia hasta un 0,04%, el límite de fatiga y la templabilidad, pero disminuye la plasticidad y la soldabilidad y eleva la temperatura de transición de la ductilidad.
- **Silicio:** Aumenta la resistencia, la tenacidad y la templabilidad. Disminuye la temperatura de transición de ductilidad, pero también reduce la soldabilidad.
- **Azufre:** Puede causar fragilización en caliente. Los altos contenidos de azufre pueden ocasionar porosidad y agrietamiento en caliente al soldar a menos que se tomen precauciones especiales.
- **Cobre:** En cantidades de hasta aproximadamente 0.35% es muy efectivo para mejorar la resistencia de los aceros al carbono a la corrosión atmosférica.

Tabla 1 Requisitos químicos.

PRODUCTO	PERFILES ^A	PLACAS ^B					BARRAS ^B			
		Todos	Hasta 20, incl	Mayor que 20 hasta 40, incl	Mayor que 40 hasta 65, incl	Mayor que 65 hasta 100, incl	Mayor que 100	Hasta 20, incl	Mayor que 3/4 hasta 1 1/2 [20 to 40], incl	Mayor que 40 hasta 100, incl
Carbono, máx., %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso, %	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.2	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.9
Fósforo, máx., %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, máx., %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio, %	0.40 máx.	0.4 máx.	0.40 máx.	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.4	0.4 máx.	0.40 máx.	0.40 máx.	0.4 máx.
Cobre, mín., % cuando se especifica acero al cobre	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

NOTA 3— Cuando aparezca en esta tabla "...", no hay requisito. El análisis térmico para el manganeso debe ser determinado e informado como se describe en la sección de análisis térmico de la Especificación A 6/A 6M.

^A Se requiere un contenido de manganeso de 0.85-1.35 % y un contenido de silicio de 0.15-0.40 % para perfiles con espesores de ala superiores a 3 in. [75 mm].

^B Para cada reducción de 0.01 punto en porcentaje por debajo del máximo carbono especificado, será permitido un aumento de 0.06 puntos en porcentaje de manganeso por encima del máximo especificado, hasta un máximo de 1.35 %.

Fuente: Tabla 2 Norma ASTM A36

2.1.11. METALURGIA DE LA SOLDADURA

En la soldadura convencional, en la que tiene lugar la fusión del metal, el calor del sistema de soldar se desarrolla en una zona claramente identificada y localizada, crea un gradiente elevado de temperatura. Parte del metal a soldar se funde y origina el metal líquido que formará el cordón. La sección A-A de la Fig. 9 es la zona de la distribución de temperaturas.

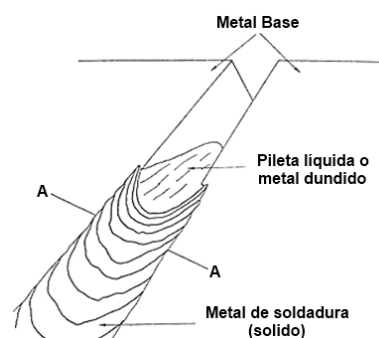


Fig. 9 Soldadura en ejecución.

Fuente: Apuntes metalurgia de la soldadura, Ing. Gabriel Orozco T.

La soldadura por fusión crea ciclos de calentamiento y de enfriamiento en el metal base, adyacente al cordón, y los efectos dependerán de la naturaleza del metal

soldado y de las condiciones de la operación. El metal del cordón se sobrecalienta siempre en todos los procesos; la cantidad de calor que cede al metal adyacente dependerá del proceso, velocidad de calentamiento y conductividad térmica del metal soldado. En la Fig. 10 se muestra las zonas de cordón de soldadura.

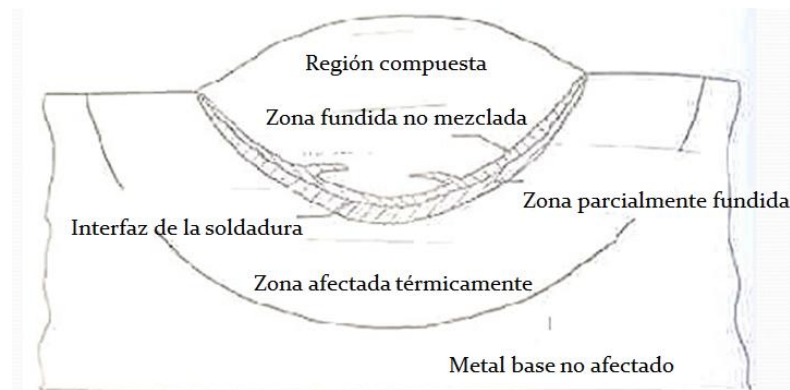


Fig. 10 Zonas de un cordón de soldadura.

Fuente: ASM Vol. 6, Capítulo: Solid state transformation in weldments, Fig. 10

2.1.11.1. Predicción de la microestructura

Los factores principales que influyen en el desarrollo micro estructural durante el enfriamiento a temperatura ambiente del metal de soldadura son:

- El proceso de soldadura en sí mismo que definirá el tamaño y la geometría de la pileta líquida.
- La composición final del metal fundido es influenciada por el metal de aporte, el metal base, los fundentes, gases, humedad ambiente, etc., y sus efectos en el sobre enfriamiento constitucional y en la segregación.
- La velocidad de soldadura y sus efectos sobre la velocidad de solidificación, la morfología de los granos y la segregación.

- El ciclo térmico de la soldadura y su influencia sobre el engrosamiento micro estructural y los productos de transformación a través de la velocidad de enfriamiento.
- El efecto de la composición química del metal de soldadura sobre la templabilidad del material, especialmente durante el recalentamiento o en soldaduras multi-pasos.

2.1.11.2. Transferencia de calor y flujo de fluido en soldadura por fusión

La transferencia de calor y el flujo de fluido resultantes afectan la distribución de temperaturas en el metal base, la forma y tamaño de la pileta líquida, el proceso de solidificación, la velocidad de enfriamiento y las cinéticas de transformación en estado sólido en el metal de soldadura y en la zona afectada por el calor (ZAC).

La variación de la temperatura con el tiempo, a menudo denominada ciclo térmico, afecta a:

- La evolución micro estructural.
- Las tensiones residuales.
- La magnitud de las distorsiones en la soldadura.

2.1.11.3. Calor aportado

El área donde se aporta calor es relativamente pequeña respecto de las dimensiones de la pieza. Tres variables gobiernan el aporte de calor a la pieza en la soldadura por arco eléctrico:

- La magnitud de la velocidad de ingreso de energía
- La distribución del calor aportado.

- La velocidad de avance de la soldadura.

2.1.11.4. Ancho de la zona afectada por el calor

Dado que la temperatura pico es la temperatura máxima que se alcanza en un punto por el paso de la fuente de calor, las propiedades mecánicas de muchos aceros al carbono y de baja aleación no se ven afectadas si la temperatura pico es menor de aproximadamente 730°C.

2.1.11.5. Microestructura zona afectada por el calor

La zona afectada por el calor es una formación que se da por procesos de soldadura de metales, donde las temperaturas pico son demasiado bajas para derretir el material, pero también lo suficientemente altas para producir cambios significativos en la microestructura y por lo tanto en las propiedades del material.

En la Fig. 11 se muestra los perfiles de temperatura; metal depositado (1), adyacente a la soldadura se encuentra una zona de fusión incompleta (2) en la que el metal se calienta hasta una temperatura elevada y se forman granos gruesos. Al alejarse de la soldadura (3), disminuyen la temperatura y la magnitud del sobrecalentamiento, y por tanto también el tamaño del grano. En el campo de normalización (4), el grano es fino, ya que el tiempo de calentamiento no es lo suficientemente largo para que se produzca crecimiento entre los granos austenítico. El enfriamiento subsecuente expulsa los granos finos de perlita y ferrita. El campo de normalización va seguido por una zona de re cristalización incompleta (5), en la que los granos de perlita se descomponen en granos aún más finos. En la zona de re cristalización (6) se caracteriza por la recuperación de los granos deformados por

rolado. Las alteraciones estructurales que ocurren en el área afectada por el calor varían generalmente con el contenido de carbono y de elementos de aleación en un acero.

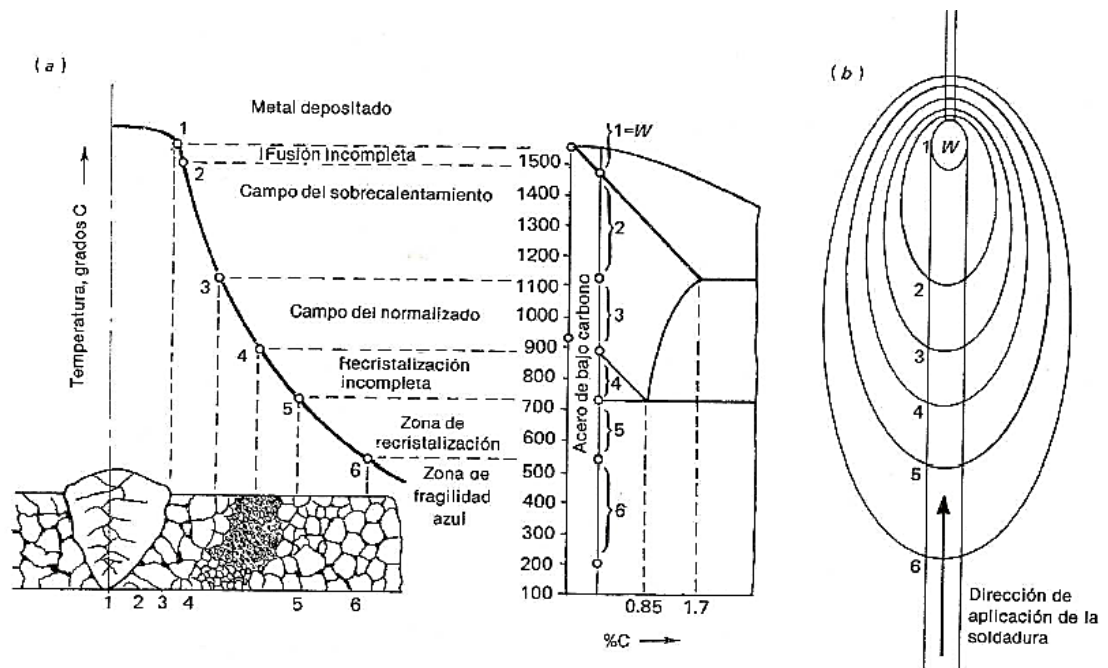


Fig. 11 Los perfiles de temperatura en una chapa de acero dulce

Fuente: ASM Vol. 6, Capítulo: Solid state transformation in weldments, Fig. 3

Cuando partes estructurales son soldadas por micro-fusión en la junta, el material de ambos componentes es calentado sobre su punto de fusión bajo condiciones de restricción impuestas por la geometría del sistema. Debido a este severo ciclo térmico, la estructura original del material y sus propiedades son modificadas en una región cercana a la soldadura. Este volumen de material afectado térmicamente se lo denomina usualmente como *zona afecta por el calor (ZAC)*. Esta zona es convenientemente dividida en sub-zonas, que se pueden observar en la Fig. 12 para el caso de un acero.

Las zonas existentes en la soldadura por fusión de la Fig. 12 contiene: 1) ferrita + perlita; 2) martensita + ferrita; 3) microestructura de recocido; 4) metal base sin afectar.

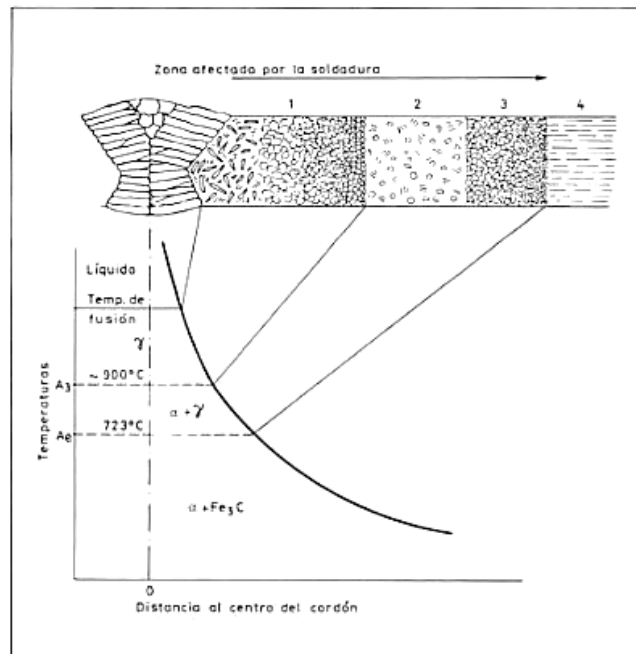


Fig. 12 Esquema de las zonas existentes en la soldadura por fusión.

Fuente: Soldadura Industrial: clases y aplicaciones, Pere Molera Solá, Fig. 3.

Desde un punto de vista metalúrgico, la zona afectada por el calor de una soldadura por fusión en aceros puede ser dividida en tres zonas: supercrítica, intercrítica y sub-crítica. La zona supercrítica puede, a su vez, ser dividida en otras dos: la zona recristalizada de grano grueso (ZRG), cercana a la línea de fusión y la zona recristalizada de grano fino (ZRF), que corresponde al material que no alcanzó temperaturas demasiado elevadas.

2.2. CONFORMADO EN FRÍO

2.2.1. FABRICACIÓN DE PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO

En los aceros para la construcción, existen dos grandes familias de elementos estructurales. La primera familia son los elementos y perfiles laminados en caliente hechos a partir de placas. La otra, menos conocida pero de importancia creciente, está compuesta por los elementos y perfiles conformados en frío a partir de chapas de acero, placas y barras planas laminadas en caliente, siendo los perfiles conformados en frío, manufacturados por dos diferentes métodos: deformación por trenes de laminación en frío y deformación por plegadora.

Deformación por plegadora: La deformación por plegadora consiste en someter una plancha de acero a presión, formando uno o dos dobleces al mismo tiempo. La longitud máxima que puede llegar a tener el perfil, depende de la capacidad de la prensa, y por lo general son seis metros (ver Fig. 13).

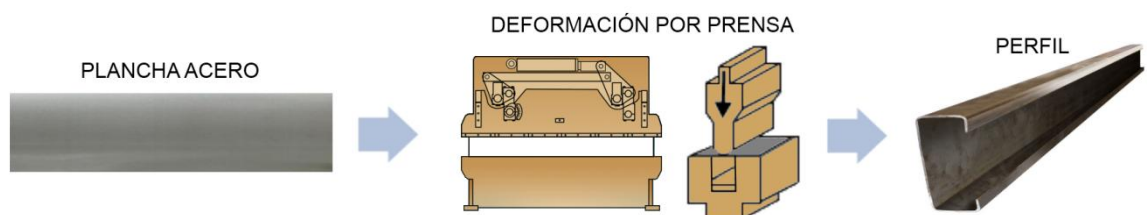


Fig. 13 Proceso de deformación por plegadora.

Fuente: Proceso de fabricación de perfiles especiales por plegadora IPAC S.A.

Deformación por trenes de laminación en frío: La deformación por laminación en frío consiste en varios pares de rodillos, por entre los cuales pasa la plancha de acero a temperatura ambiente. Cada par de rodillos va cambiando la geometría hasta conseguir la forma deseada, el número de rodillos depende de la

forma compleja del perfil a realizarse. La deformación por rolado es un método de producción a gran escala (ver Fig. 14).

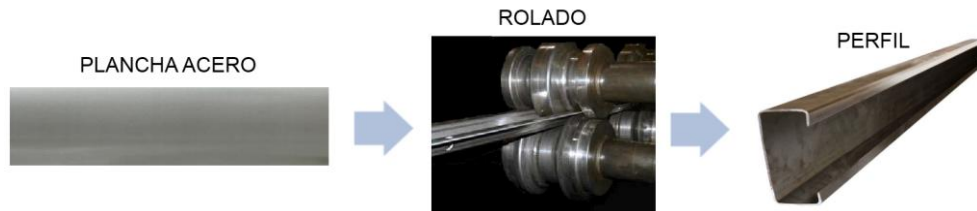


Fig. 14 Proceso de deformación por trenes de laminación en frío.

Fuente: Proceso de fabricación de perfiles predefinidos por trenes de laminación en frío IPAC S.A.

Los espesores en hojas de acero generalmente usadas en elementos estructurales de acero conformados en frío va desde 0,4 mm (0.0149 in) a una medida nominal de 6,4 mm (1/4 in). Placas y barras de aceros de espesor hasta 25 mm (1 in) pueden ser conformadas en frío satisfactoriamente en perfiles estructurales.

Los elementos formados en frío pueden distinguirse de los perfiles laminados en caliente, cuyas formas contienen esquinas redondeadas y elementos planos esbeltos, y en que todos esos elementos tienen el mismo espesor. No existen series estándar de secciones estructurales trabajadas en frío como las que existen para las laminadas en caliente, aunque algunos grupos de estas secciones se han diseñado con fines de comparación.

2.2.2. ACERO ESTRUCTURAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO

Clasificación. Los aceros de alta aleación y baja aleación se utilizan en muchos proyectos de Ingeniería Civil. Los nuevos aceros, por lo general, son introducidos

por sus fabricantes con marca registrada, pero un breve examen de sus composiciones, tratamiento térmico y propiedades, suele permitir relacionarlos con otros materiales ya existentes. Enseguida aparecen algunas clasificaciones que permiten comparar los nuevos productos con los que ya están normalizados.

Las designaciones de las especificaciones ASTM sirven para clasificar los aceros estructurales que han estado en uso un tiempo suficiente para poder clasificarlos. Estas especificaciones cubren las variables de producción, como proceso, contenido químico y tratamiento térmico, así como mínimos de rendimiento en propiedades de tracción y dureza.

El agrupamiento por resistencia al límite de fluencia puede establecerse mediante otro sistema de clasificación, el ASTM A36, 36 ksi límite de elasticidad. El acero al carbono para fines estructurales se utiliza en la construcción de puentes y edificios remachados, atornillados y soldados.

2.2.2.1. Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es un material que por sus características y propiedades se ha convertido en el más usado por la industria ecuatoriana. Este material es el resultado de la composición de elementos químicos, siendo el mayoritario el hierro y el de menos presencia el carbón (ver tabla 1 Requisitos químicos norma ASTM A36), lo cual facilita el proceso de conformado de este acero. En la tabla 2 se muestran las propiedades mecánicas del material ASTM A36.

Tabla 2 Acero ASTM A36

Designación ASTM	Mínimo Límite de Elasticidad F_Y (ksi)	Mínima Resistencia a la Tracción F_u (ksi)	F_U $/F_Y$	Mínima Elongación (%) en 2-in. Longitud de la Galga
A36	36	58 - 80	1.61	23

Fuente: Norma ASTM A36 Tabla 3

Una ventaja muy importante de este material es que tienen un comportamiento lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace que sea predecible en las estructuras, y por lo tanto el más usado en la industria.

2.2.3. TIPOS DE PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO

Los perfiles estructurales se encuentran normalizados, en cuanto a sus medidas, teniendo en cuenta que existen perfiles especiales que son fabricados de acuerdo a cada diseño estructural, siendo los perfiles más usados mostrados en la Fig. 15:



Fig. 15 Secciones estructurales típicas de acero conformado en frío

Fuente: Catálogo de acero IPAC S.A.

2.3. ESTUDIO DE LAS NORMAS APLICABLES

2.3.1. AISI S100 - ESPECIFICACIÓN NORTE AMERICANA PARA EL DISEÑO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES CONFORMADOS EN FRÍO.

Alcance. Esta especificación se aplica al diseño de miembros estructurales formados en frío para dar forma a partir de aceros al carbón o de aceros de baja aleación chapas, tiras, placas, o barra de no más de 1 pulgada (25,4 mm) de espesor y se utiliza para transportar la carga en los propósitos siguientes:

- (a) los edificios, y
- (b) otras estructuras de edificios en previstas asignaciones que se hacen para efectos dinámicos.

Aplicabilidad. Esta especificación incluye disposiciones de diseño para el diseño de resistencia permisible (ASD), de carga y factor de diseño de resistencia (LRFD), y el límite de los estados de diseño (LSD).

Aceros aplicables. Esta especificación requiere el uso de los aceros destinados a aplicaciones estructurales, tal como se definen en general por las especificaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales que figuran en esta sección.

- ASTM A36/A36M, Especificación Estándar para Acero al Carbono Estructural

Juntas. Las juntas deben ser diseñados para transmitir la fuerza necesaria que actúa sobre los miembros conectados con el examen de la excentricidad en su caso.

Juntas Soldadas. Los siguientes criterios de diseño se aplican a las juntas soldadas utilizadas para los elementos estructurales de acero conformado en frío, en los que el espesor de la parte más delgada conectada es 3/16 pulgadas (4,76 mm) o menos. Para el diseño de las juntas soldadas, en las que el espesor de la parte más delgada conectada es mayor que 3/16 pulgadas (4,76 mm), se refieren a las especificaciones o normas estipuladas en la E2a sección correspondiente del apéndice A o B.

- Groove Welds in Butt Joints
- Arc Spot Welds
- Arc Seam Welds
- Fillet Welds
- Flare Groove Welds
- Resistance Welds
- Rupture in Net Section of Members other than Flat Sheets (Shear Lag)

2.3.2. AWS D1.1 CÓDIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL

Introducción. Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales. La intención de este subtítulo es presentar la información básica necesaria para adquirir una visión de conjunto acerca de la estructura, campo de aplicación y requisitos generales de los códigos, normas y especificaciones de mayor aplicación en el campo de las estructuras, en cuya fabricación y montaje intervienen operaciones de soldadura.

Alcance, campo de aplicación. Este código cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complemente el diseño y construcción de estructuras de acero. Quedan fuera de su alcance los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores de 1/8 pulg. (3.2mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de cedencia mínimo mayor a 100,000 lb/pulg² (690Mpa).

Limitaciones. El código fue desarrollado específicamente para acero soldado estructuras que utilizan aceros al carbono o aceros de baja aleación que son 1/8 en [3 mm] o más grueso, con una resistencia a la fluencia mínima especificada de 100 ksi [MPa 690] o menos. El código puede ser adecuado para gobernar fabricaciones estructurales fuera de la alcance de la finalidad prevista.

Precalificación. Precalificación de WPSs (Especificaciones de procedimiento de soldadura) se define como exentos de la calificación de WPS prueba 'requerida en la cláusula 4. Todos los precalificados WPSs deberán ser escritos. Para que un WPS pueda ser precalificado, en conformidad con todos los requisitos aplicables de la cláusula 3 son requeridos. Los WPSs que no cumplan con los requisitos de la Cláusula 3, pueden ser calificados por medio de pruebas en conformidad con la Cláusula 4. Soldadores, operadores de soldadura y soldadores tachuela que utilizan WPSs precalificados, deben ser calificados en conformidad con la Cláusula 4 de la Parte C.

Calificación. Los requisitos para las pruebas de calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) y el personal de soldadura se describen como sigue:

- Parte A - Requisitos generales.
- Parte B - Especificación procedimiento de soldadura (WPS).
- Parte C-Clasificación rendimiento.
- Parte D-Requisitos para pruebas de ensayos de impacto (CVN).

Fabricación. Todas las disposiciones aplicables de esta sección se observarán en la fabricación y montaje de conjuntos soldados y estructuras que apliquen cualquier procedimiento aceptable bajo este código, como:

- Material Base
- Consumibles para soldadura y Requisitos de electrodos
- WPS Variables
- Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas
- Respaldo, etc.

Inspección. Contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades de inspecciones, los criterios de aceptación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar inspección visual y las pruebas no destructivas.

2.4. TIPOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

2.4.1. MIEMBROS ESTRUCTURALES INDIVIDUALES

En este tipo de estructura, los miembros estructurales principales en las construcciones están formados por elementos estructurales, tales como correas “G” y canales “C”, como se muestra en la siguiente construcción (ver Fig. 16):



Fig. 16 Miembros de aceros conformados en frío usados en la construcción

Fuente: <http://teconstruyotucasa.blogspot.com/>

- **Vigas:** Son elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, correspondiente a su eje longitudinal. Están sometidas principalmente a flexión y corte, y en ocasiones a torsión.
- **Columnas:** Son elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, al igual que las vigas, pero en este caso predomina las fuerzas de compresión cuya línea de acción coinciden con o es paralela a su eje.

2.5. TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS

2.5.1. SOLDADURA DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO

La soldadura ofrece ventajas importantes a los fabricantes y constructores para unir componentes estructurales metálicos. Las juntas soldadas hacen posible las estructuras continuas, con economía y rapidez en la fabricación. Son juntas factibles con eficiencias del 100% si se las ejecuta adecuadamente.

En general, el acero que se va a soldar debe estar limpio y libre de aceite, grasa, pintura, escamas, etc. La pintura debe aplicarse únicamente después de la operación de limpieza de la soldadura.

2.5.2. TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS EN PERFILES CONFORMADO EN FRÍO

La soldadura de arco puede efectuarse en talleres o en obras. En la figura 17 se muestran los tipos básicos de soldadura para lámina de acero y perfiles conformados en frío. Algunos factores que favorecen la soldadura de arco son la libertad en el diseño de la junta, manejabilidad y versatilidad del equipo. Solo un lado de una junta necesita ser accesible y no se requiere el traslape de sus partes si existe un buen ajuste entre ellas y un buen diseño de la junta.

La distorsión es un problema con la soldadura en acero de poco espesor, pero puede minimizarse evitando la soldadura continua excesiva. El número del electrodo y su diámetro deben ser adecuados para los requisitos de trabajo.

Para que una junta soldada sea efectiva, deben minimizarse las contracciones, pandeos y torceduras. Deben usarse soportes y guías si se usan perfiles de bajo espesor durante la soldadura, para controlar las deformaciones. Las direcciones y las cantidades de la deformación pueden predecirse, y algunas veces contrarrestarse, si se inclinan previamente las partes o se distribuye la soldadura de una manera adecuada. Debe utilizarse una secuencia de soldadura seleccionada para controlar la deformación.

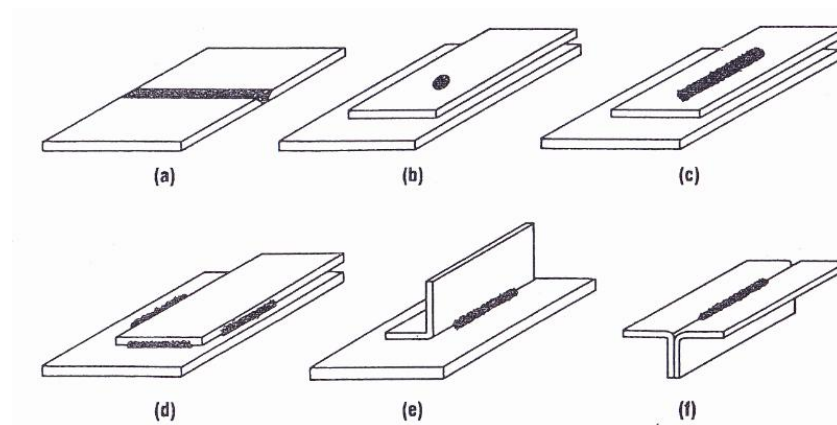


Fig. 17 Tipos de soldadura en láminas: (a) de ranura a escuadra, (b) de arco por puntos (soldadura en charco redondo), (c) de arco en costura (soldadura en charco oblongo), (d) de filete, (e) de bisel abocinado, (f) en V abocinada.

Fuente: Manual del Ingeniero Civil, Federick S. Merrit, Figura 10.8

2.6. PROCESOS DE SOLDADURA

2.6.1. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON

ELECTRODO REVESTIDO (SHIELDED METAL ARC WELDING – SMAW)

Es un proceso de soldadura en el cual el arco se produce entre un electrodo recubierto y el material base. La protección y el metal de aporte son obtenidos a

partir de la descomposición del electrodo. La figura 18 ilustra de manera esquemática la operación de este proceso.

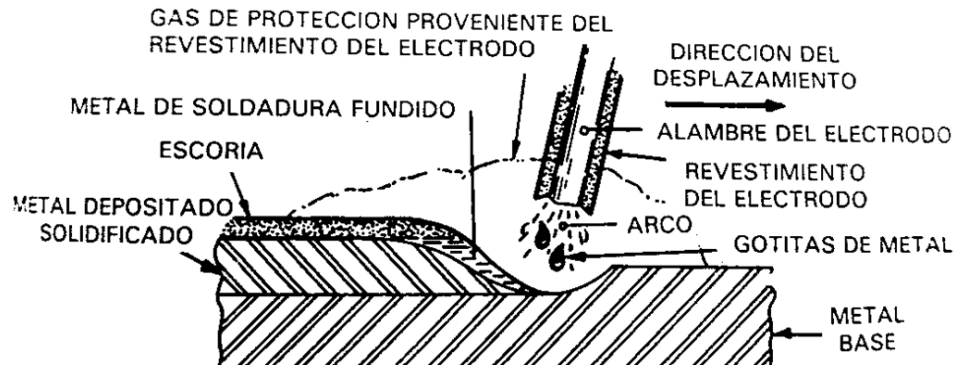


Fig. 18 Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

Fuente: Manual de soldadura moderna, Tomo 1, Howard B. Cary Figura 6-27

SMAW se ha ganado una reputación positiva para depositar soldaduras de alta calidad de forma fiable. Es, sin embargo, más lento y más costoso que otros métodos de soldadura, y también más dependiente de la habilidad del operador para soldaduras de alta calidad y es difícil de usar en materiales delgados.

Las funciones más importantes del revestimiento son:

- Suministrar la atmósfera protectora al arco y el charco de metal.
- Suministrar agentes desoxidantes y limpiadores al metal de soldadura fundido.
- Formar una capa de escoria para proteger el metal fundido y evitar enfriamientos bruscos y oxidación del metal solidó caliente.
- Suministrar elementos de aleación al metal de soldadura.

- Fijar característica de operación tales como tipo de corriente y la polaridad con que deben ser empleados los diferentes tipos de electrodo, así como la profundidad de la penetración, la posición de soldadura y otras características.
- Estabilizar el arco.
- Evitar la absorción del metal líquido del charco de soldadura, de gases como el nitrógeno y otros que forman parte del aire.

2.6.1.1. Consumibles, especificaciones.

Para los electrodos empleados en este proceso (ver tabla 3), se aplican las especificaciones AWS A5.1 para electrodos de acero al carbono.

Tabla 3 Electrodo más usados en proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

Electrodo E7018 (AWS-ASTM)	
E:	Electrodo para acero de bajo hidrogeno
70:	70.000 lbs/pul2 de resistencia a la tracción
1:	Para soldar en toda posición
8:	Revestimiento Bajo hidrógeno + Hierro en Polvo para corriente alterna y corriente continua polaridad invertida
Electrodo E6011 (AWS-ASTM)	
E:	Electrodo para acero dulce de baja aleación
60:	60.000 Lbs/pul2 de resistencia a la tracción
1:	Para soldar en toda posición
1:	Revestimiento Celulósico Potásico para corriente alterna y corriente continua polaridad invertida

Fuente: Catalogo de electrodos comunes, especiales y gases para corte y soldadura, AGA, pág. 9, 13

2.6.1.2. Parámetros de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

2.6.1.2.1. Diámetro del electrodo

Los parámetros de selección de diámetro del electrodo en general se selecciona el de mayor diámetro posible que cumple las condiciones de aporte térmico y en función de:

- Posición
- Espesor del material
- Tipo de unión

El aporte térmico depende directamente del diámetro del electrodo, ya que mientras mayor sea su diámetro mayor será la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento. Por tanto, cuando se requiera aporte térmico bajo, se recomienda el uso de electrodos de pequeño diámetro.

2.6.1.2.2. Intensidad de soldeo

Si se aplicaran intensidades por encima del rango recomendado, se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético, e incluso grietas. La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo, tipo de junta, espesor y material base. En la figura 19 se indica el nivel de intensidad dentro del rango recomendado en función de las diferentes posiciones de soldeo, tomando como ejemplo un electrodo de 1/8 pulg.

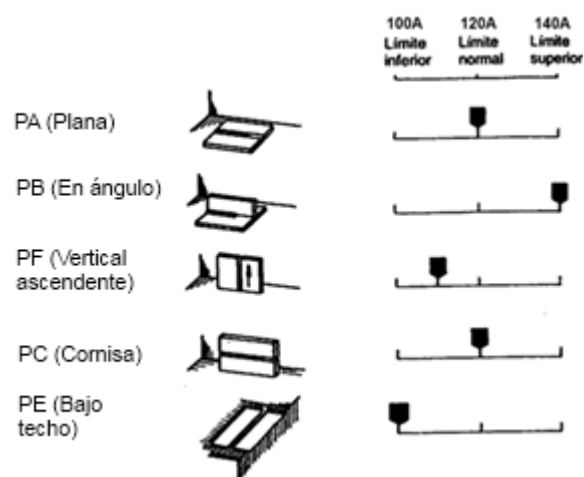


Fig. 19 Intensidad de la soldadura en función de la posición. Chapa de 3mm d espesor, soldada en una pasada.

Fuente: Soldeo manual con electrodos revestidos, [Lincoln Electric](#). Fig. 10

2.6.1.2.3. Longitud del arco

La longitud del arco (ver Fig. 20) suele ser la misma que el diámetro del electrodo, pero depende de algunos parámetros:

- Tipo de electrodo
- Diámetro
- Posición de soldadura
- Intensidad de corriente

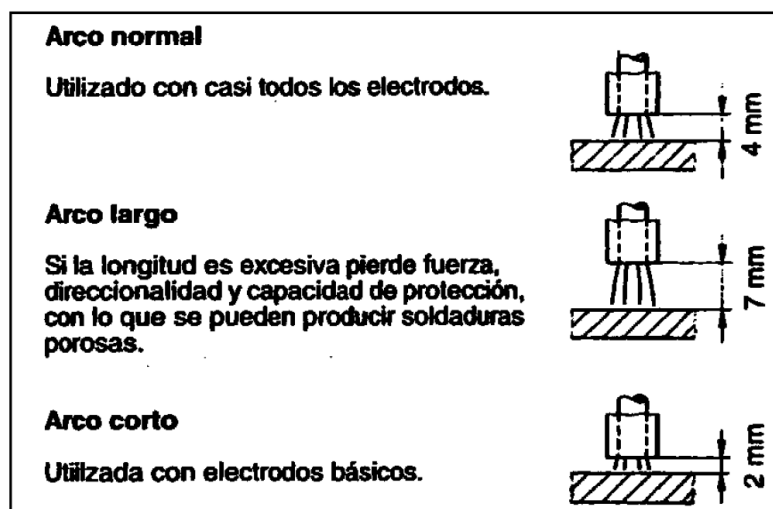


Fig. 20 Longitudes de arcos para un electrodo de diámetro 4mm.

Fuente: Soldeo manual con electrodos revestidos, [Lincoln Electric](#). Fig. 12

2.6.1.2.4. Velocidad de desplazamiento

La velocidad de desplazamiento debe mantener el arco ligeramente por delante del baño de fusión.

2.6.1.2.5. Orientación del electrodo

En la tabla 4 se relacionan las orientaciones típicas de los electrodos y las técnicas de soldeo con electrodos para acero al carbono.

Tabla 4 Orientación del electrodo y técnicas de soldeo típicas en el soldeo manual con electrodos revestidos para aceros al carbono.

Tipo de unión	Posición de soldadura	Ángulo de trabajo	Ángulos de desplazamiento	Técnica de soldeo
Chaflán	Plana	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Chaflán	Horizontal	80° - 100°	5° - 10°	Hacia atrás
Chaflán	Ascendente	90°	5° - 10°	Hacia adelante
Chaflán	Bajo Techo	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Ángulo	Horizontal	45°	5° - 10°	Hacia adelante
Ángulo	Ascendente	35° - 55°	5° - 10°	Hacia adelante
Ángulo	Bajo Techo	30° - 45°	5° - 10°	Hacia atrás

Fuente: Solder manual con electrodos revestidos, Lincoln Electric. Tabla 2

2.6.2. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ALAMBRE SOLIDO CONTINUO PROTEGIDO CON GAS (GAS METAL ARC WELDING - GMAW)

Es un proceso de soldadura por arco que se establece entre un electrodo eléctrico sólido continuo de aporte y el metal base. La protección se obtiene por completo de un gas suministrado externamente.

Este proceso también es conocido como MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas), dependiendo si se entrega protección con gases inertes o activos, o con un micro-alambre o *micro-wire*, entre otras designaciones.

En GMAW, se emplea un alambre continuo, sólido y desnudo, que tiene las funciones de servir como electrodo y metal de aporte, y al no haber revestimiento como en el caso del proceso SMAW, no se forma una capa de escoria, sino una película vítrea ligera. La figura 21 ilustra de manera esquemática la operación de este proceso.

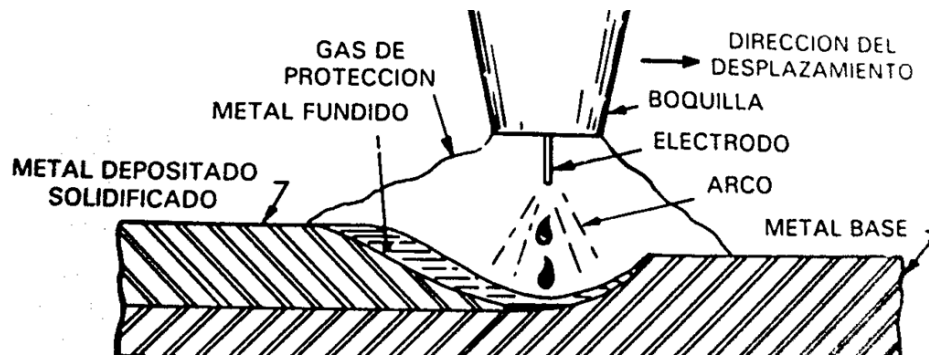


Fig. 21 Proceso de soldadura por arco con alambre continuo protegido por gas (GMAW)

Fuente: Manual de soldadura moderna, Tomo 1, Howard B. Cary, Figura 6-53

En este proceso pueden usarse los métodos de aplicación semiautomática, mecanizado y automático, y, en operaciones repetitivas como las empleadas en la construcción de estructuras metálicas de lámina delgada.

2.6.2.1. Gases de protección

La protección del arco y del charco de metal fundido se obtiene a partir de un gas o mezcla de gases adicionados externamente. Los gases empleados constituyen una serie de las variables de soldadura que afectan este proceso, y tiene una gran influencia sobre las características de las uniones soldadas.

Para metales ferrosos, pueden emplearse gases activos tales como el dióxido de carbono, o mezclas de gases inertes con gases activos, tales como dióxido de carbono y oxígeno. La figura 22 ilustra los patrones de penetración y el contorno de los cordones obtenidos con algunos gases de protección.

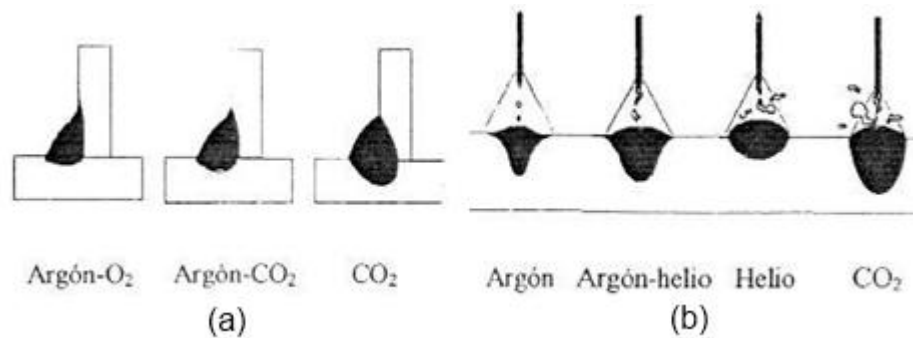


Fig. 22 Efecto de algunos gases y mezclas en el contorno y en la penetración del cordón.

Fuente: a.-Inspector de soldadura AWS QC1:2007, Inchisol, Figura 5.17 y Figura 5.18

Los factores que se consideran para determinar el tipo de gas a emplear son, entre otros, los siguientes:

- velocidad de soldadura;
- penetración, ancho y forma del cordón;
- tipo de metal a ser soldado;
- características del arco y tipo de transferencia metálica requerida;
- costo del gas; y,
- propiedades mecánicas requeridas.

La tabla 5 muestra algunas aplicaciones, características y gases o mezcla de gases de protección empleados en soldadura por arco eléctrico protegido con gas.

Tabla 5 usos de diferentes gases de protección para el proceso de soldadura por arco eléctrico protegido con gas

TIPO DE GAS	MEZCLAS TÍPCAS	USOS PRINCIPALES
Argón	N.A.	Metales no ferrosos
Helio	N.A.	Aleaciones de aluminio, magnesio y cobre
Dióxido de Carbono	N.A.	Aceros al carbono y de baja aleación
Argón + Helio	20% - 80% He	Aleaciones de aluminio, magnesio y níquel
Argón + Oxígeno	1-2% O ₂	Acero inoxidable
	3-5% O ₂	Acero al carbono y de baja aleación
Argón + Dióxido de Carbono	20-50% CO ₂	Acero al carbono y de baja aleación
Helio + Argón + Dióxido de Carbono	90 He-7-1/2Ar-2-1/2 CO ₂	Acero inoxidable (corto circuito)
	60-70He-25-35Ar-5 CO ₂	Acero de baja aleación
Nitrógeno	N.A.	Aleaciones de cobre

Fuente: Inspector de soldadura AWS QC1:2007, Inchisol, Figura 5.6

2.6.2.2. Modos de transferencia

La transferencia del metal en el arco eléctrico puede realizarse por spray, globular, cortocircuito y pulsado, siendo cortocircuito el modo de transferencia no precalificado por la AWS D.1.1 y el más usado en construcciones del DMQ.

La transferencia por cortocircuito se produce por contacto del alambre con el metal depositado. Este tipo de transferencia es obtenido cuando la intensidad y la tensión de soldeo son bajas, y es utilizado para el soldeo en posición vertical, bajo techo y para el soldeo de espesores delgados o cuando la separación en la raíz es excesiva.

2.6.2.3. Consumibles, especificaciones y clasificaciones

Las especificaciones aplicables para los electrodos empleados en este proceso corresponden a la norma AWS A5.18 para electrodos de acero al carbono (ver tabla 6).

Tabla 6 Tabla material de aporte soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW)

ER-70S-6	
ER:	Significa que se trata de un electrodo o una varillas desnuda.
70:	resistencia mínima a la tensión de 70,000 lb/pulg ² .
S:	Indica que se trata de un metal de aporte sólido.
6:	Composición química, antioxidante bajo hidrogeno sódico.
ER70S-3:	
ER:	Significa que se trata de un electrodo o una varillas desnuda.
70:	Indica la resistencia mínima a la tensión de 70,000 lb/pulg ² .
S:	Indica que se trata de un metal de aporte sólido.
3:	Significa que estos electrodos están intentados para soldaduras de pasos sencillos y múltiples.

Fuente: Catalogo de electrodos comunes, especiales y gases para corte y soldadura, AGA, pág. 41,42.

2.6.2.4. Parámetros soldadura semiautomática con gas de protección

2.6.2.4.1. Relación entre parámetros.

La intensidad es mayor cuanto mayor es la velocidad de alimentación. La tasa de deposición también está muy relacionada con la intensidad; cuanto mayor es la intensidad, más rápidamente se producirá la fusión. Aproximadamente el 90% de la energía se concentra en el arco y el 10% restante en el alambre. Por tanto, cuanto mayor sea la longitud del arco, mayor será la tensión (ver Fig. 23).

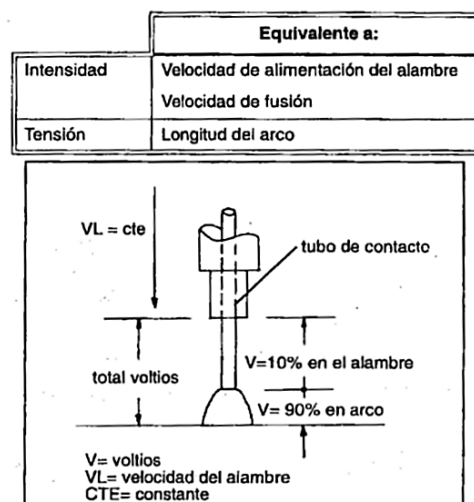


Fig. 23 Relación entre parámetros, GMAW.

Fuente: Soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW), Lincoln Electric. Fig. 19

2.6.2.4.2. Extremo libre del alambre electrodo (“Stick-Out”)

La distancia desde la boquilla hasta el extremo del alambre, se conoce como el extremo libre del alambre (“stick-out”). Siendo esta variable de mucha importancia para el soldeo, cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración es débil y aumenta la cantidad de salpicadura (Ver Fig. 24).

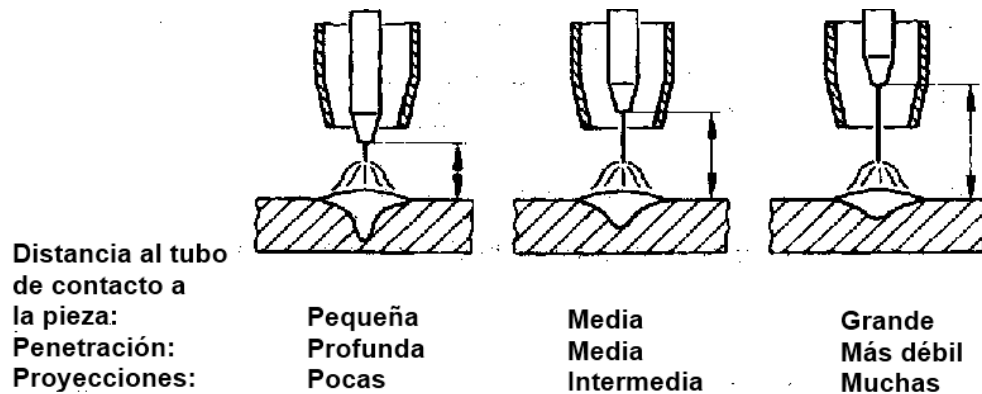


Fig. 24 Efecto del extremo libre del alambre manteniendo constante la tensión y la velocidad de alimentación del alambre.

Fuente: Soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW), Lincoln Electric. Fig. 19

2.6.2.4.3. Velocidad de desplazamiento

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo, mayor será la penetración.

2.6.2.4.4. Polaridad

Para obtener un arco estable se debe utilizar la polaridad inversa (DC+) y con ello una buena transferencia de metal de aportación, un buen cordón de soldadura y gran penetración.

2.6.2.4.5. Ángulo de inclinación de la pistola (ángulo de desplazamiento)

Tabla 7 Ángulo de inclinación de la pistola

Desplazamiento de la pistola para proceso GMAW	
Hacia delante	Hacia atrás
Para el soldeo de pequeños espesores ya que la penetración disminuye y el cordón se hace más ancho y plano.	La máxima penetración se obtiene, con un ángulo de desplazamiento de 25°, con un ángulo de desplazamiento de 5-15°.

Fuente: Soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW), Lincoln Electric. Literal 6.5

2.7. ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS**2.7.1. ENSAYOS MECÁNICOS DEL ACERO**

Las principales cargas externas a las que se someten los elementos mecánicos para la realización de estos ensayos son:

2.7.1.1. Ensayo de tracción

En el campo de las construcciones soldadas, las pruebas de tensión se emplean para ensayar metales base, metal de soldaduras y juntas soldadas, las cuales incluyen regiones de metal base, metal depositado de soldadura y zonas térmicamente afectadas. Las pruebas de tensión de los especímenes obtenidos de cupones de calificación de procedimientos de soldadura sirven para demostrar que las juntas soldadas obtenidas con el procedimiento (calificado) tienen las propiedades de tensión iguales o superiores a los metales base soldados.

2.7.1.2. Ensayo de doblado

Las pruebas de doblado se emplean para evaluar la plasticidad y sanidad (ausencia de efectos) de las juntas soldadas, y la plasticidad por lo general se juzga

verificando si el espécimen se fracturó o no bajo condiciones especificadas de prueba. Estas pruebas consisten en doblar o plegar un espécimen bajo cargas aplicadas gradual y uniformemente.

Los criterios de aceptación están establecidos en términos de la ausencias de discontinuidades (con alguna tolerancia) superficiales en la parte convexa de los especímenes que se doblaron durante la prueba con un radio de curvatura dado para cada tipo de material y para cada tipo de espesor nominal de espécimen o probeta. La dimensión del radio de doblez especificado varía entre una norma y otra en relación con el tipo de material a ensayar.

2.7.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVO

2.7.2.1. Inspección visual

La inspección o examen visual es el método no destructivo más ampliamente usado en la industria. Aproximadamente un 80% de las discontinuidades, defectos y deficiencias identificadas por medio de exámenes no destructivos se detectan con esta técnica.

La inspección visual puede emplearse para determinar aspectos como la cantidad y forma, el tamaño, el acabado superficial, características funcionales y la detección de discontinuidades e imperfecciones superficiales en muchos objetos a examinarse.

2.7.2.1.1. Principios y descripción de la técnica

La inspección visual consiste en la observación cuidadosa de las partes sujetas a examen durante las diferentes etapas de sus procesos de su producción, desde la

recepción de las materias primas hasta el producto terminado.

Para que el examen visual resulte efectivo, es necesario que el personal encargado en su ejecución posea ciertos conocimientos, habilidades y atributos, como la familiarización con los materiales y procesos de fabricación involucrados, así como con las características, discontinuidades o deficiencias. Para esto se necesita personal calificado.

2.7.2.1.2. Aplicaciones

En el campo de la inspección de soldadura, las discontinuidades típicas que se detectan con este método son: socavados, faltas de llenados, porosidad superficial, grietas abiertas a la superficie, traslapes, tamaños y gargantas de soldadura menor a los especificados, convexidades y alturas de refuerzo excesivo, distorsión y falta de alineación.

Una vez que se termina el trabajo de soldadura, tiene lugar la inspección de aceptación, que incluye la detección de discontinuidades y condiciones tales como la distorsión, la verificación de dimensiones y la conformidad con respecto a los planos, así como la apariencia de la soldadura (chisporroteo y rugosidad, por ejemplo). La minuciosidad de esta revisión se debe apoyar con otros métodos de END, según el juicio del inspector o las especificaciones fijadas.

2.7.2.1.3. Equipo

La mayor parte de las aplicaciones de inspección visual se hace a simple vista y por tanto no requiere de equipos, aunque a veces resulta necesario o conveniente el empleo de espejos, lupas, y métodos de registro fotográfico o en video, como

también el uso de calibradores para mediciones.

2.7.2.2. Ensayo por líquidos penetrantes

Consiste en la ganancia de visualización de las grietas superficiales de los materiales por la aplicación de líquidos capaces de penetrar en la grieta y de otros capaces de multiplicar su luminosidad.

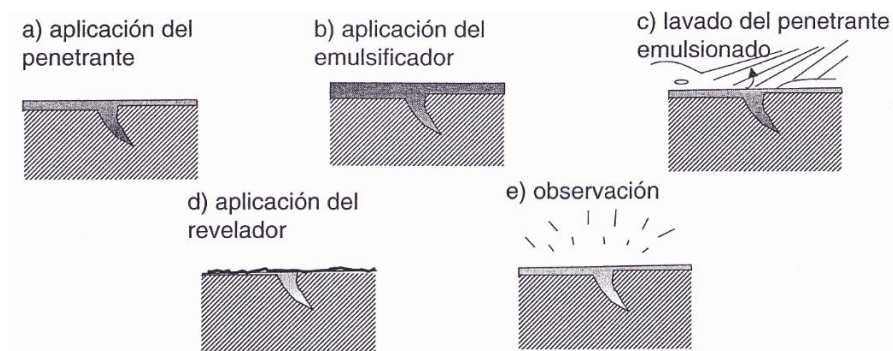


Fig. 25 Etapas del proceso de ensayo por líquidos penetrantes aplicación de a) Penetrante, b) Eliminador; c) Acción de limpieza; d) Revelador; e) Observación

Fuente: Tecnología de Materiales, Carlos Ferrer-Vicente Amigó, Figura 4.48.

Se puede aplicar en todos los materiales, con la única condición de que no sean porosos, pues obviamente puede confundir defecto con textura normal.

El proceso completo de este ensayo que quedó indicado en la figura 25 es el siguiente:

- 1) Aplicación del líquido, denominado penetrante, cuya característica es alcanzar el llenado total del defecto (a).
- 2) Aplicación del líquido eliminador, para actuar solo sobre el penetrante fuera del defecto (b).

- 3) Limpieza del eliminador en superficie, que deja solo el penetrante en la grieta (c).
- 4) Aplicación del líquido revelador cuya misión, es diferenciar por contraste las zonas con penetrante (d).
- 5) Observación de revelador con fuentes luminosas específicas (e).

2.7.2.2.1. Ventajas

Las principales ventajas de esta técnica son las siguientes:

- Proporciona un nivel de sensibilidad muy alto.
- Sirve para inspeccionar partes de configuraciones intrincadas.
- Es relativamente fácil de emplear.
- Es barata, razonablemente rápida y puede ser portátil.
- Se requiere de poco tiempo de entrenamiento para los inspectores.

2.7.2.2.2. Limitaciones

La prueba por líquidos penetrantes es aplicable únicamente a la detección de discontinuidades que afloran a las superficies y a materiales no porosos. Requiere de una limpieza previa efectiva. No proporciona un registro permanente de los resultados de examen. Requiere de inspectores con amplia experiencia, y si se hace una selección incorrecta del método de prueba o de los materiales penetrantes puede ocasionar resultados no confiables o niveles de sensibilidad inferiores a los requeridos.

2.7.3. PRUEBAS METALOGRÁFICAS.

Las pruebas metalográficas consisten en la obtención, preparación (mediante corte, desbaste, pulido y ataque químico o electroquímico) y evaluación de muestras metálicas representativas en la estructura metalúrgica que se desea examinar. El examen puede hacerse a simple vista, a pocos aumentos, o por medio de microscopios ópticos.

En la evaluación de las juntas soldadas de nuestros perfiles conformados en frío, los exámenes metalográficos se usan para determinar uno o más de los siguientes aspectos:

- La sanidad (ausencia de defectos) de las juntas
- La localización y la profundidad de la penetración de la soldadura
- La extensión de la zona térmicamente afectada
- La estructura metalúrgica del metal de soldadura y la zona afectada térmicamente.

2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Según la norma AWS D1.1 Código de soldadura de acero estructural, nos indica en el capítulo 4, sección 4.5, tipos de pruebas para la calificación es según la tabla 4.2, 4.3 y 4.4, que veremos a continuación en la tabla 8.

Tabla 8 Calificación WPS-Soldaduras de Canal CJP, PJP y filete: Número y Tipo de Muestras de Ensayo y Rango de Espesor y Diámetro Calificado.

Calificación WPS-Soldaduras de canal CJP, PJP y filete: Número y tipo de muestras de ensayo y rango de espesor y diámetros calificado							
Espesor (T) Nominal de la chapa para ensayo, mm	Cantidad de Probetas					Espesor nominal calificado en chapa, tubos o caños, mm	
	Macro- Ataque tamaño de soldadura	Tracción probeta sección reducida	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblado lateral	Min.	Max.
3≤T≤10	Calificación WPS-Soldaduras de canal CJP						
	-	2	2	2	-	3	2T
	Calificación WPS-Soldaduras de canal PJP						
	3	2	2	2	-	3	2T
	Calificación WPS-Soldaduras de filete						
	3	-	-	-	-		

Fuente: Norma AWS D1.1 Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4

2.8.1. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se determinarán de acuerdo a la Norma AWS D1.1 sección 4, que se explicará más detenidamente en el capítulo 4 de juntas soldadas.

CAPÍTULO 3

CALIFICACION MATERIAL BASE CONFORMADO EN FRÍO

ASTM A36

3.1. PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN

3.1.1. CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE ACERO

Tabla 9 Tabla de perfiles conformados en frío más usados en la construcción ecuatoriana

Perfiles de sección abierta conformados en frío	Perfil G “Correa”
	Perfil U o C “Canales”
	Perfil omega
	Perfil H

Fuente: Propia, Extraído catalogo IPAC S.A

El control de calidad de los productos de acero comprenderá, en cada caso, la comprobación de las características relativas a:

- a) Sus características geométricas, según norma INEN 1623.
- b) Sus principales características mecánicas, según norma ASTM A36, AISI S100.
- c) Su microestructura, según la norma ASTM E3 y ASM Handbook (Manual) volumen 9.
- d) Su composición química, según la norma ASTM A36.

3.1.1.1. Control de las características geométricas de los productos

En el control geométrico de los perfiles conformados en frío nos enfocamos a la regulación de los espesores del material ya que en la región de las esquinas son

menores, también verificaremos las tolerancias de altura y ancho y curvaturas del alma de los perfiles seleccionados, como se nos indica en la norma INEN 1623.

3.1.1.1.1. Requisitos específicos para las dimensionales

- a) Las tolerancias en el espesor deben ser los establecidos en la tabla 10.

Tabla 10 Tolerancias en espesor (mm)

Espesor (mm)	Tolerancia mm
2	$\pm 0,13$
3	$\pm 0,18$
4	$\pm 0,2$
5	$\pm 0,25$
6	$\pm 0,27$
8	$\pm 0,28$
10	$\pm 0,32$
> 12	$\pm 0,35$

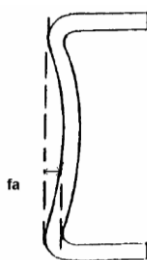
Fuente: Tabla 2 Norma INEN 1623

- b) Las tolerancias para valores de alturas iguales o menores a 125 mm deben ser de $\pm 1,5$ mm. Para valores mayores a 125 mm debe ser de ± 2 mm.
- c) La tolerancia para las medidas de ancho y pestaña de perfiles cuyo espesor está comprendido entre 5 mm debe ser $\pm 1,5$ mm y para espesores mayores la tolerancia debe ser de ± 2 mm.
- d) El radio interior debe ser $\leq 2,5e$.
- e) Las tolerancias para curvatura del alma (fa) deben ser las especificadas en la tabla 11 y Fig. 26.

Tabla 11 Tolerancias en la curvatura del alma.

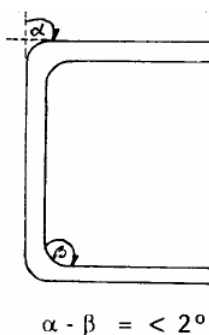
Altura del perfil (h) mm	Curvatura (fa) mm
50	$\pm 0,5$
80	$\pm 0,6$
100	$\pm 0,8$
125	$\pm 0,8$
150	$\pm 1,0$
175	$\pm 1,0$
> 200	$\pm 1,0$

Fuente: Tabla 4 Norma INEN 1623

**Fig. 26 Curvatura del alma (fa)**

Fuente: Figura 1 Norma INEN 1623

- f) La falta de paralelismo entre alas no debe ser superior a $\pm 2^\circ$ y debe ser medida como se indica a continuación en la Fig. 27.

**Fig. 27 Medición de paralelismo entre caras.**

Fuente: Figura 2 Norma INEN 1623

- g) La falta de perpendicularidad entre caras adyacentes no debe ser superior a 2° y debe ser medida como se indica en la figura 28.

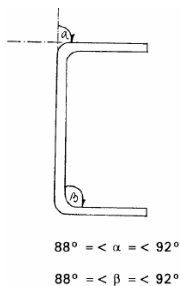


Fig. 28 Medición de la perpendicularidad de caras.

Fuente: Figura 3 Norma INEN 1623

3.1.1.2. Control de las características mecánicas de los aceros

Las características mecánicas de los aceros serán en conformidad con los límites establecidos en la norma AISI S100 vigente, la cual nos indica los siguientes parámetros

3.1.1.2.1. Plasticidad requerida

Capacidad de un material para ser deformado plásticamente sin presentar fractura. Usualmente se presenta como el porcentaje máximo de elongación que alcanza una barra de material a ser estirado (tensión). El acero permite soportar grandes deformaciones sin falla alcanzando esfuerzos de tensión, ayudando a que las fallas sean evidentes.

Según las especificaciones AISI S100 A2.3.1 2007 se recomienda la siguiente condición Ec. 2:

$$\frac{F_u}{F_y} > 1.08 \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

F_u = Resistencia a la tensión

F_y = Límite de Fluencia

3.1.1.2.2. Elongación requerida

Según las especificaciones AISI S100 A2.3.1 2007 se recomienda la siguiente condición:

- 10 % en 2" (5.04 cm) de longitud de calibración.
- 7 % en 8" (20.3 cm) de longitud de calibración.

Lo anterior debe cumplirse, al ser sometido un espécimen estándar a un ensayo de acuerdo a ASTM A370. Este criterio es aplicable para aceros usados para miembros y conexiones.

Si estos requisitos no pueden cumplirse, se satisfará el siguiente criterio:

- Elongación local a través de la fractura ≥ 20 % en 1/2" (1.27 cm)
- Elongación uniforme fuera de la fractura ≥ 3 %

3.1.1.3. Metalografía y microestructura

El principal objetivo de la metalografía es revelar la microestructura de los metales y aleaciones por medio de un microscopio, dependiendo la aplicación de la investigación existen casos en los cuales se debe ser más minucioso en los detalles de su microestructura del material a estudiar, como ejemplo ver Fig. 29.

En la norma ASTM E3, nos indica los pasos apropiados para la preparación de la muestra; desde la limpieza de la misma pieza metálica a ser estudiada, pasando por la extracción de la probeta hasta la abrasión, pulido y ataque.

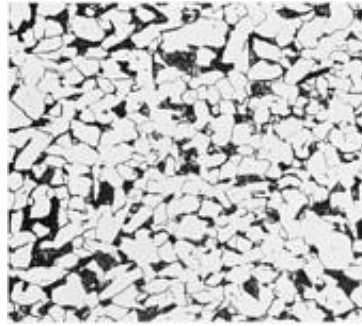


Fig. 29 ASTM A36, 9.5 mm de espesor, rolada. Su Estructura consiste en ferrita (áreas blancas) y perlita (áreas negras). 1% Nital. 250x

Fuente: Fig. 1 ASM Handbook volumen 9 pág. PDF. 372

Para el tamaño de grano nos basamos en la norma ASTM E112, nos indica el método de Heyn (Método intersección lineal), según la norma ASTM E112 literal 13.

Para nuestro caso, al momento de obtener las muestras, determinamos qué tipo de material es el que estamos estudiando para realizar los respectivos análisis. Pero se debe tener en cuenta que no supimos si el material realmente es el mencionado por los constructores y algo muy importante, tampoco supimos si el material ha sufrido algún tratamiento térmico, lo cual su microestructura cambiaría.

3.1.1.4. Composición química

La composición química de los aceros será de acuerdo a los límites establecidos por la norma ASTM A36 de acero de aleación de bajo carbono, según la tabla 1 Requisitos químicos.

3.1.2. INSPECCIÓN

Los lotes, conformados por perfiles de la misma forma, dimensiones y tipo de acero, serán divididos en lotes de muestreo de acuerdo con la tabla 12.

Tabla 12 Tamaño del lote y muestra, criterios de aceptación o rechazo para los requisitos.

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Requisitos			
		- mecánicos - químicos - espesor		- torcimiento longitudinal - curvatura del alma - radio interior - paralelismo entre alas - perpendicularidad entre alas - rectitud (fv, fl) - altura, ancho, pestaña, longitud y masa	
		Ac	Re	Ac	Re
2 a 15	2	0	1	0	1
16 a 25	3	0	1	0	1
26 a 90	5	0	1	0	1
91 a 150	8	0	1	0	1
151 a 500	13	1	2	1	2
501 a 1 200	20	1	2	1	2
1 201 a 10 000	32	1	2	2	3
10 001 a 35 000	50	2	3	3	4
35 001 a 500 000	80	3	4	5	6
500 001 y sobre	125	5	6	7	8
Nivel de inspección S1 Nivel de calidad aceptable AQL 6.5					

Ac = número de aceptación

Re = número de rechazo

Fuente: Tabla 14 Norma INEN 1623.

De cada unidad de muestreo se extraerán las probetas sobre las cuales se realizarán los ensayos establecidos según las normas pertinentes. Como testigo quedará un registro que contenga todas las pruebas realizadas a la muestra.

3.1.2.1. Tamaño de muestras

El tamaño de muestra para los ensayos químicos, mecánicos, metalúrgicos y geométricos será de dos muestras para cada ensayo.

3.2. PROVEEDORES Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Para nuestro estudio de los perfiles conformados en frío, escogimos tres diferentes construcciones en el Distrito Metropolitano de Quito, tanto en el norte como en el centro y sur, cuyos proveedores son IPAC, DIPAC y KUBIEC que son

los principales proveedores para el DMQ en perfiles conformados en frío, a fin de identificar el tipo de material y con qué características se está construyendo. Para esto se harán las pruebas antes mencionadas en los parámetros de calificación (véase literal 3.1), analizando en las muestras de dichas construcciones el comportamiento de los perfiles conformados en frío.

Los materiales que se usan en el distrito metropolitano de Quito, provienen de varios proveedores, los cuales tienen sus propios certificados de fabricación y calidad de acuerdo a normas tanto nacionales como internacionales que deben cumplirse estrictamente (ver anexo A).

3.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La siguiente metodología fue aplicada a cada una de las muestras recogidas en el Distrito Metropolitano de Quito:

- 1) Descripción del perfil: material, tipo de perfil y dimensiones.
- 2) Ensayos geométricos de las muestras (véase 3.1.1.1).
- 3) Ensayos mecánicos de los aceros (véase 3.1.1.2).
- 4) Ensayos metalúrgicos (véase 3.1.1.3)
- 5) Composición química (véase 3.1.1.4)
- 6) Análisis de los datos obtenidos.

3.3.1. ENSAYOS GEOMÉTRICOS

Nos basamos en la norma INEN 1623, para la cual creamos un esquema del perfil a ser estudiado y acotamos las dimensiones importantes enumeradas. Tomamos

tres mediciones de cada dimensión, se obtendrá el promedio y se comparará con la dimensión teórica y si llega a cumplir con sus tolerancias, según nos dicta la norma.

Todos los ensayos geométricos se realizarán en el laboratorio de Metrología de la Escuela Politécnica del Ejército, con la ayuda de especialistas en el tema y con instrumentos certificados.

3.3.2. ENSAYOS MECÁNICOS

En los ensayos mecánicos optamos por realizar el ensayo de tracción, que además de ser el más importante permite determinar el comportamiento del material cuando soporta fuerzas estáticas.

El manual AISI para el diseño de acero conformado en frío – literal 3.1 - en la sección F3 dice: “Para determinar la resistencia a la tracción deben estar de acuerdo con la norma ASTM A370” (AISI, 2007).

La ubicación de las probetas para los ensayos mecánicos en perfiles conformados en frío no se encuentran normalizada, es decir, no existe una norma que la regule, razón por la cual la toma de la muestra para los ensayos mecánicos de tensión en los perfiles conformados en frío se harán de acuerdo a puntos críticos en este tipo de perfiles (véase Fig. 6) que se presentan a continuación.

La ubicación de las probetas no depende del tipo de perfil, pero para fines ilustrativos decidimos colocar la figura 30, teniendo en cuenta que la probeta se encuentra en la mitad del alma. La mitad del alma es la parte más crítica en un perfil

conformado en frío (véase Fig. 6). Cuando la plancha, hoja, chapa, etc., es sometida al conformado en frío, sus características mecánicas cambian, sus esquinas se endurecen, y su plasticidad disminuye.



Fig. 30 Ubicación de probetas para ensayos de tracción en el alma.

Fuente: Propia, probeta de acuerdo ASTM A370.

3.3.2.1. Tamaño de la muestra.

Las dimensiones de la probeta son de acuerdo a la norma ASTM A370 Fig. 3, o ver Fig.31. Probetas rectangulares para ensayos de tracción (ver anexo B).

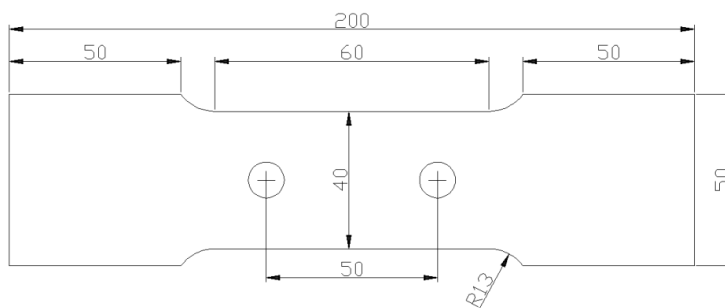


Fig. 31 dimensiones de la probeta para ensayo de tracción.

Fuente: Propia, probeta de acuerdo ASTM A370.

Todos los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército, con la ayuda de especialistas en el tema.

3.3.3. ENSAYOS METALÚRGICOS

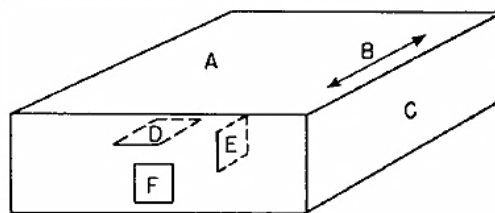
Para el siguiente ensayo de metalografía nos basamos en varias normas (ASTM E3, ASTM E7, ASTM 407), las cuales nos ayudaron a revelar sus componentes y la microestructura de las diferentes probetas de acero ASTM A36 en perfiles conformados en frío.

3.3.3.1. Corte de la probeta para metalografía

El corte adecuado de la probeta es la etapa más importante, ya que la estructura puede alterarse fácilmente debido al calor aportado por el corte, por lo que se recomienda que las probetas sean seccionadas con sierra manual, procedimiento recomendado por la norma ASTM E3 sección 7.1.1.

3.3.3.2. Ubicación de la probeta para metalografía

La ubicación para extracción de la probeta (ver Fig. 32) es esencial, ya que de eso depende el valor de interpretación de cómo se encuentra el material a ser estudiado. La norma ASTM E3 sección 5.2.2, indica que se debería estudiar las secciones tanto longitudinal como transversal cuando el material es trabajado en caliente o en frío.



Símbolo	Descripción
A	Superficie laminada
B	Dirección laminado
C	Borde laminado
D	Sección plana
E	Sección longitudinal perpendicular a la superficie de laminado
F	Sección transversal

Fig. 32 Método de designación de ubicación para extracción de probetas

Fuente: Norma ASTM E3 Figura 1.

3.3.3.3. Tamaño de la probeta para metalografía

Según la norma ASTM E3 sección 6.1 la probeta generalmente de geometría cuadrada entre 12 a 25 mm y el espesor no mayor al necesario por conveniencia de manipulación.

3.3.3.4. Preparación de la probeta para el ensayo de metalografía

- a) **Abrasión:** En la etapa de abrasión usamos papel de lija de grano 80, seguido por 220, 360, 600, 800, 1.000, 1.200 y 1.500 de grano. Durante la abrasión, el agua debe ser usada para limpiar el papel de lija y mantener la probeta fresca.
- b) **Pulido:** Las técnicas de pulido de probetas de acero dependen de su microestructura. Para nuestro caso pulimos con alúmina de 1 micra y paño para pulir.
- c) **El ataque químico:** La muestra debe ser atacada inmediatamente después del pulido final. Soluciones de ataque utilizado para revelar las microestructuras de los aceros al carbono y de aleación se enumeran en la tabla 13, junto con

sus características principales. Nital se usa generalmente en concentraciones de 1 a 3% HNO₃ en etanol o metanol. Nos indica la norma ASTM E407 Tabla 1, 2 y 3.

Tabla 13 Soluciones para ataque químico, metalografía.

Reactivo	Composición	Observaciones	Usos
Nital	2ml de HNO ₃ y 98ml de etanol o metanol	Excelente para determinar los límites de granos de ferrita, el tiempo de ataque; pocos segundos.	Para los aceros al carbono, da el máximo contraste entre perlita y una red de ferrita o cementita, revela los límites de ferrita.

Fuente: ASM Handbook volumen 9

Por último, se observarán los resultados obtenidos en el microscopio hasta poder apreciar los granos del acero estudiado y también se realizará el respectivo procedimiento para determinar el tamaño de grano mencionado anteriormente (véase 3.1.1.3).

Todos los ensayos metalúrgicos se realizarán en el laboratorio de Metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército, con la ayuda de especialistas en el tema y con instrumentos certificados.

3.3.4. ENSAYOS QUÍMICOS

Para el análisis de composición química, con el Espectrómetro de Chispa Spectro Max 5 (véase anexo C).

3.3.4.1. Preparación de muestras

El tamaño de las muestras no se especifica en ninguna norma, pero por requerimientos propios de la máquina, las muestras deben tener mínimo una dimensión de 25 x 25 mm con un espesor propio del material. Para lograr esas dimensiones, se realiza el corte de los elementos estructurales seleccionados con una sierra manual y se pule la probeta con lija de grano 60, son los requisitos para realizar la prueba en el espectrómetro de chispa.

3.4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROVEEDORES

3.4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Tabla 14 Descripción muestras DMQ sector Norte – La Carolina.

Norte	
Muestra 1	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Correa "G"
Dimensiones:	250x75x25x4
Muestra 2	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Canal "C"
Dimensiones:	125x50x3

Fuente: Propia, muestras extraídas sector Norte – La Carolina DMQ

Tabla 15 Descripción muestras DMQ sector Centro – La Marín.

Centro	
Muestra 1	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Correa “G”
Dimensiones:	100x50x15x2
Muestra 2	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Correa “G”
Dimensiones:	100x50x15x2

Fuente: Propia, muestras extraídas sector Centro – La Marín DMQ

Tabla 16 Descripción muestras DMQ sector Sur - Hilluc.

Sur	
Muestra 1	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Correa “G”
Dimensiones:	150x60x30x4
Muestra 2	
Material:	ASTM A36
Tipo de Perfil:	Correa “G”
Dimensiones:	300x75x30x4

Fuente: Propia, muestras extraídas sector Sur – Hilluc DMQ.

3.4.2. ENSAYOS GEOMÉTRICOS DE LAS MUESTRAS.

3.4.2.1. Esquemas de los perfiles para toma de mediciones

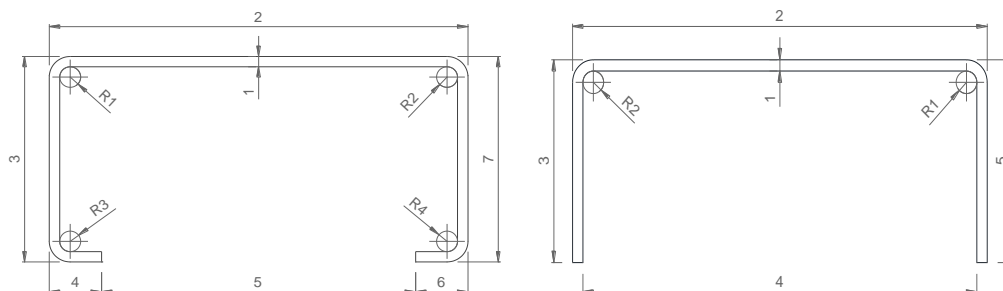


Fig. 33 Esquema perfil tipo correa "G" y canal "C", para toma de mediciones.

Fuente: Propia, esquema de acuerdo norma INEN 1623.

3.4.2.2. Tablas de resultados ensayos geométricos

Tabla 17 Tabla dimensiones sector Norte DMQ muestra 1

Norte DMQ muestra 1 correa "G" 250x75x25x4 Fig. 33									
Dimensiones Norte DMQ muestra 1									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{X} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	3,93	4,02	3,92	11,87	3,96	4,00	-0,04	$\pm 0,13$	Cumple
2	251,44	241,34	251,26	744,04	248,01	250,00	-1,99	$\pm 1,5$	No Cumple
3	75,24	74,91	74,84	224,99	75,00	75,00	0,00	$\pm 1,5$	Cumple
4	29,80	29,79	29,88	89,47	29,82	25,00	4,82	$\pm 1,5$	No Cumple
5	196,42	195,79	196,45	588,66	196,22	200,00	-3,78	$\pm 1,5$	No Cumple
6	27,08	26,81	26,78	80,67	26,89	25,00	1,89	$\pm 1,5$	No Cumple
7	75,64	75,52	75,68	226,84	75,61	75,00	0,61	$\pm 1,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 18 Tabla radio interior curvatura sector Norte DMQ muestra 1

Radio interior curvatura Norte DMQ muestra 1			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	6,8	≤ 10	Cumple
R2	7,9	≤ 10	Cumple
R3	7,1	≤ 10	Cumple
R4	7,7	≤ 10	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 19 Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector norte DMQ muestra 1

Paralelismo y perpendicularidad Norte DMQ muestra 1				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	A	B		
Paralelismo	88° 55'	90° 30'	$\alpha-\beta \leq 2^\circ$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha = \pm 2^\circ$ $\beta = \pm 2^\circ$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 20 Tabla pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 1

Pandeo alma Norte DMQ muestra 1														Tolerancia [mm]	Obs. Norma INEN 1623
Ord.	Medidas (Centésimas de mm)														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	0	-2	-7	-11	-12	-12	-12	-9	-7	-5	-5	-2	0	±1	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

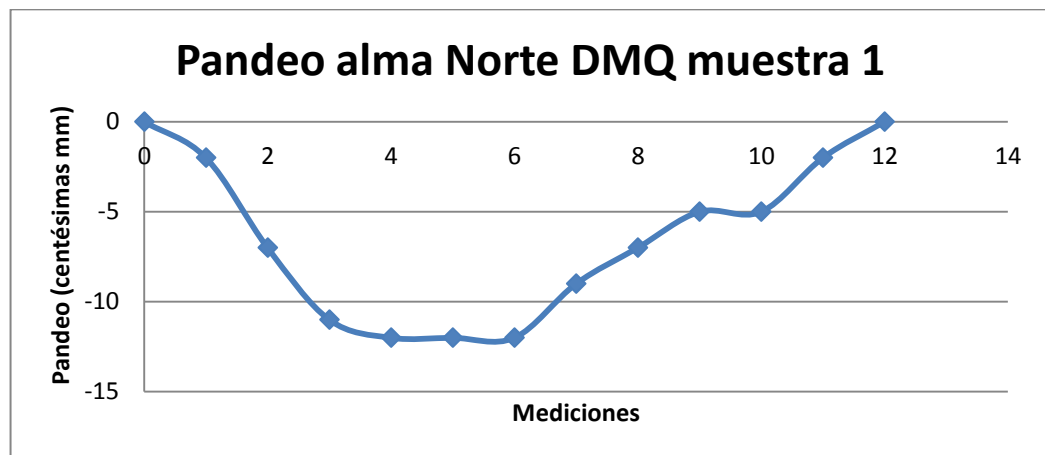


Fig. 34 Pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 1

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 21 Tabla dimensiones sector Norte DMQ muestra 2

Norte DMQ muestra 2 canal "C" 125x50x3 Fig. 33									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{X} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	2,9	2,86	2,9	8,66	2,89	3,00	-0,11	$\pm 0,13$	Cumple
2	123,50	123,64	123,78	370,92	123,64	125,00	-1,36	$\pm 1,5$	Cumple
3	51,18	50,56	51,16	152,90	50,97	50,00	0,97	$\pm 1,5$	Cumple
4	114,43	113,67	116,04	344,14	114,71	119,00	-4,29	$\pm 1,5$	No Cumple
5	50,91	50,85	50,78	152,54	50,85	50,00	0,85	$\pm 1,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 22 Tabla radio interior curvatura sector Norte DMQ muestra 2

Radio interior curvatura Norte DMQ muestra 2			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	6,4	$\leq 7,5$	Cumple
R2	7,3	$\leq 7,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 23 Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Norte DMQ muestra 2

Paralelismo y perpendicularidad Norte DMQ muestra 2				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	α	β		
Paralelismo	$90^{\circ} 30'$	$91^{\circ} 10'$	$\alpha - \beta \leq 2^{\circ}$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha = \pm 2^{\circ}$ $\beta = \pm 2^{\circ}$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 24 Tabla pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 2

Pandeo alma Norte DMQ muestra 2													
Ord.	Medidas (Centésimas de mm)										Tolerancia [mm]	Obs. Norma INEN 1623	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10
1	0	-4	-6	-5	-4	-5	-9	-12	-12	-2	0	$\pm 0,8$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

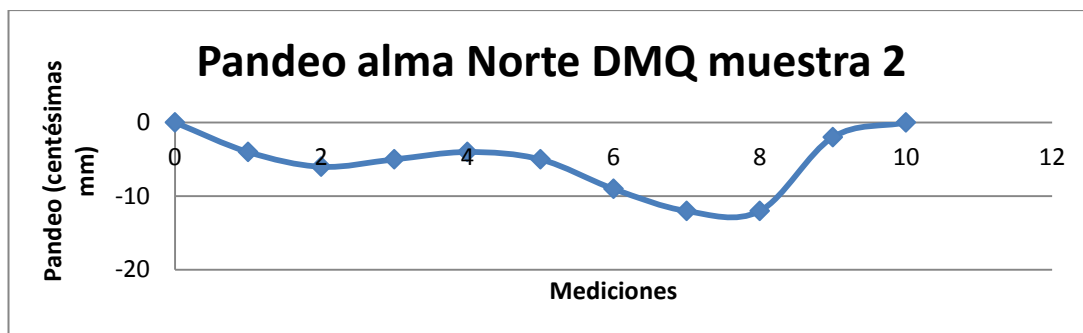


Fig. 35 Pandeo del alma sector Norte DMQ muestra 2

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 25 Tabla dimensiones sector Centro DMQ muestra 1

Centro DMQ muestra 1 correa "G" 100x50x15x2 Fig. 33									
Dimensiones centro DMQ muestra 1									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{X} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	2,05	2,07	2,01	6,13	2,04	2,00	0,04	$\pm 0,13$	Cumple
2	99,21	99,08	98,92	297,21	99,07	100,00	-0,93	$\pm 1,5$	Cumple
3	48,77	48,65	48,62	146,04	48,68	50,00	-1,32	$\pm 1,5$	Cumple
4	15,63	15,85	15,65	47,13	15,71	15,00	0,71	$\pm 1,5$	Cumple
5	66,67	66,95	67,57	201,19	67,06	70,00	-2,94	$\pm 1,5$	No Cumple
6	15,56	15,64	15,60	46,80	15,60	15,00	0,60	$\pm 1,5$	Cumple
7	49,22	48,94	48,86	147,02	49,01	50,00	-0,99	$\pm 1,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 26 Tabla radio interior curvatura sector Centro DMQ muestra 1

Radio interior curvatura centro DMQ muestra 1			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	3,50	≤ 5	Cumple
R2	3,00	≤ 5	Cumple
R3	2,70	≤ 5	Cumple
R4	2,60	≤ 5	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 27 Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Centro DMQ muestra 1

Paralelismo y perpendicularidad centro DMQ muestra 1				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	α	β		
Paralelismo	92°	90° 55'	$\alpha-\beta \leq 2^\circ$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha = \pm 2^\circ$ $\beta = \pm 2^\circ$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 28 Tabla pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 1

Pandeo alma Centro DMQ muestra 1											Tolerancia (mm)	Obs. Norma INEN 1623	
Ord.	MEDIDAS (Centésimas)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0	-7	-12	-5	2	3	6	7	4	1	0	$\pm 0,8$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

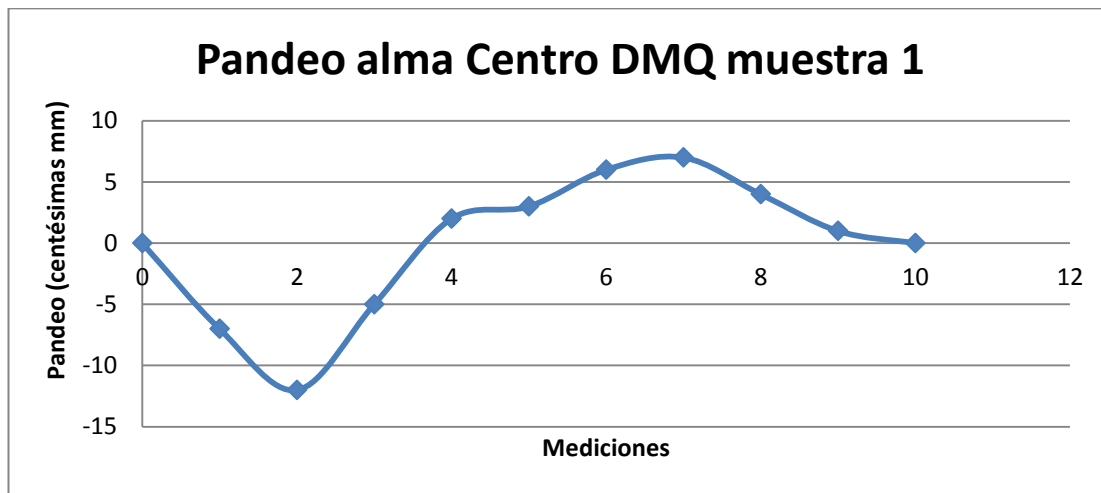


Fig. 36 Pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 1

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 29 Tabla dimensiones sector Centro DMQ muestra 2

Centro DMQ muestra 2 correa "G" 100x50x15x2 Fig. 33									
Dimensiones Centro DMQ muestra 2									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{X} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	2,05	2,07	2,01	6,13	2,04	2,00	0,04	$\pm 0,13$	Cumple
2	99,21	99,08	98,92	297,21	99,07	100,00	-0,93	$\pm 1,5$	Cumple
3	48,77	48,65	48,62	146,04	48,68	50,00	-1,32	$\pm 1,5$	Cumple
4	15,63	15,85	15,65	47,13	15,71	15,00	0,71	$\pm 1,5$	Cumple
5	66,67	66,95	67,57	201,19	67,06	70,00	-2,94	$\pm 1,5$	No Cumple
6	15,56	15,64	15,60	46,80	15,60	15,00	0,60	$\pm 1,5$	Cumple
7	49,22	48,94	48,86	147,02	49,01	50,00	-0,99	$\pm 1,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 30 Tabla radio interior curvatura sector Centro DMQ muestra 2

Radio interior curvatura Centro DMQ muestra 2			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	3,50	≤ 5	Cumple
R2	3,00	≤ 5	Cumple
R3	2,70	≤ 5	Cumple
R4	2,60	≤ 5	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 31 Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Centro DMQ muestra 2

Paralelismo y perpendicularidad Centro DMQ muestra 2				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	α	β		
Paralelismo	92°	$90^\circ 55'$	$\alpha - \beta \leq 2^\circ$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha = \pm 2^\circ$ $\beta = \pm 2^\circ$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 32 Tabla pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 2

Pandeo alma Centro DMQ muestra 2													
Ord.	Medidas (Centésimas de mm)										Tolerancia [mm]	Obs. Norma INEN 1623	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10
1	0	-7	-12	-5	2	3	6	7	4	1	0	±0,8	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

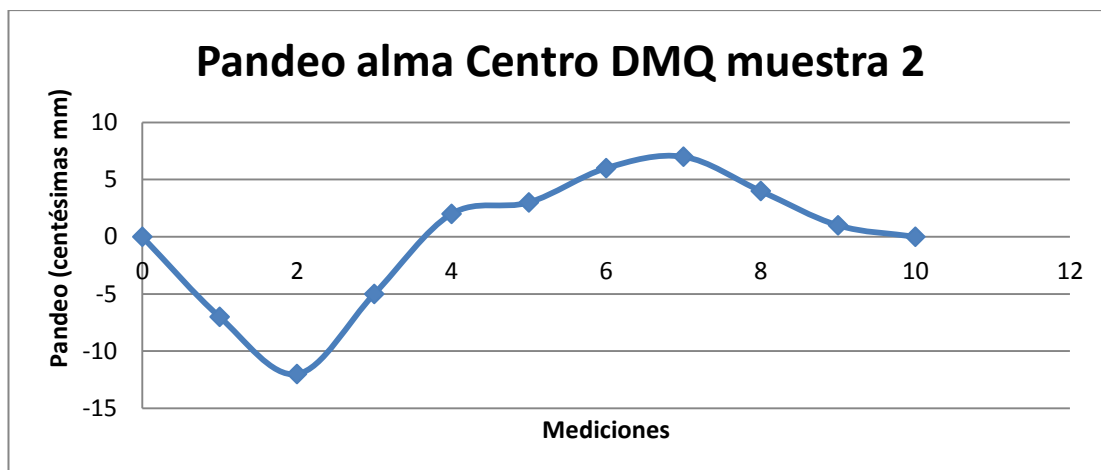


Fig. 37 Pandeo del alma sector Centro DMQ muestra 2

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 33 Tabla dimensiones sector Sur DMQ muestra 1

Sur DMQ muestra 1 correa "G" 150x60x30x4 Fig. 33									
Dimensiones Sur DMQ muestra 1									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{X} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	3,97	3,96	3,99	11,92	3,97	4,00	-0,03	±0,13	Cumple
2	150,5	150,49	150,55	451,54	150,51	150,00	0,51	±1,5	Cumple
3	58,96	58,99	58,92	176,87	58,96	60,00	-1,04	±1,5	Cumple
4	29,36	29,29	29,32	87,97	29,32	30,00	-0,68	±1,5	Cumple
5	91,32	91,45	91,49	274,26	91,42	90,00	1,42	±1,5	Cumple
6	30,09	30,18	30,08	90,35	30,12	30,00	0,12	±1,5	Cumple
7	60,32	60,43	60,34	181,09	60,36	60,00	0,36	±1,5	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 34 Tabla radio interior curvatura sector Sur DMQ muestra 1

Radio interior curvatura Sur DMQ muestra 1			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	7,5	≤ 10	Cumple
R2	6,8	≤ 10	Cumple
R3	6,5	≤ 10	Cumple
R4	7,5	≤ 10	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 35 Tabla de paralelismo y perpendicularidad Sur DMQ muestra 1

Paralelismo y perpendicularidad Sur DMQ muestra 1				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	α	β		
Paralelismo	$89^{\circ} 50'$	$89^{\circ} 55'$	$\alpha-\beta \leq 2^{\circ}$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha \pm 2^{\circ}$ $\beta \pm 2^{\circ}$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 36 Tabla pandeo del alma Sur DMQ muestra 1

Pandeo alma Sur DMQ muestra 1															
Ord.	MEDIDAS (Centésimas de mm)												Tolerancia [mm]	Obs. Norma INEN 1623	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13
1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	± 1	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

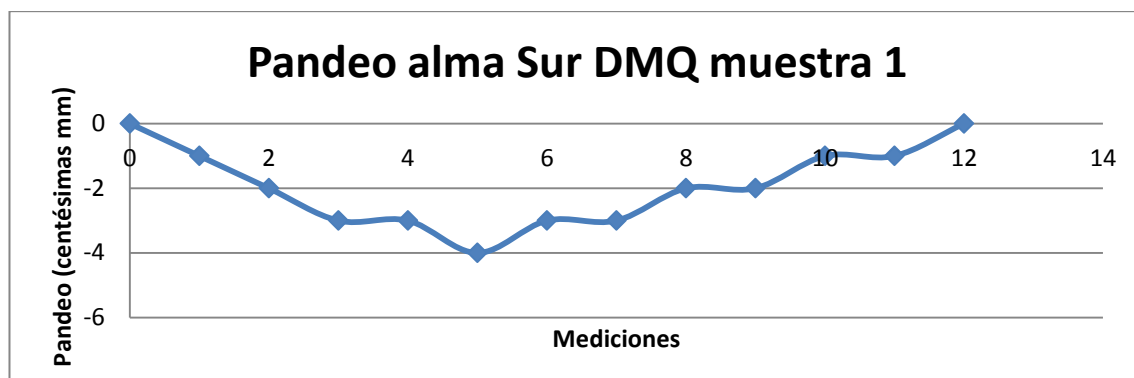


Fig. 38 Pandeo alma sector Sur DMQ muestra 1

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 37 Tabla dimensiones sector Sur DMQ muestra 2

Sur DMQ muestra 2 correa "G" 300x75x30x4 Fig. 33									
Dimensiones Sur DMQ muestra 2									
Ord.	Medidas [mm]			Σ [mm]	\bar{x} [mm]	Valor Teórico	Error	T [mm]	Obs. Norma INEN 1623
	1	2	3						
1	3,86	3,94	3,81	11,61	3,87	4,00	-0,13	$\pm 0,13$	Cumple
2	299,84	299,76	299,64	899,24	299,75	300,00	-0,25	$\pm 1,5$	Cumple
3	76,80	76,99	76,77	230,56	76,85	75,00	1,85	$\pm 1,5$	Cumple
4	29,68	29,80	29,32	88,80	29,60	30,00	-0,40	$\pm 1,5$	Cumple
5	229,74	229,66	229,92	689,32	229,77	240,00	-10,23	$\pm 1,5$	No Cumple
6	29,29	29,19	29,36	87,84	29,28	30,00	-0,72	$\pm 1,5$	Cumple
7	75,49	75,53	75,50	226,52	75,51	75,00	0,51	$\pm 1,5$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 38 Tabla radio interior curvatura sector Sur DMQ muestra 2

Radio interior curvatura Sur DMQ muestra 2			
Ord.	Medidas[mm]	Tolerancia[mm]	Obs. Norma INEN 1623
R1	13	≤ 10	No Cumple
R2	12	≤ 10	No Cumple
R3	10	≤ 10	Cumple
R4	9	≤ 10	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 39 Tabla de paralelismo y perpendicularidad sector Sur DMQ muestra 2

Paralelismo y perpendicularidad Sur DMQ muestra 2				
Ord.	Medidas		Tolerancia	Obs. Norma INEN 1623
	α	β		
Paralelismo	$90^{\circ} 25'$	$89^{\circ} 40'$	$\alpha - \beta \leq 2^{\circ}$	Cumple
Perpendicularidad			$\alpha = \pm 2^{\circ}$ $\beta = \pm 2^{\circ}$	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

Tabla 40 Tabla pandeo del alma sector Sur DMQ muestra 2

Pandeo alma Sur DMQ muestra 2														Tolerancia [mm]	Obs. Norma INEN 1623
Ord.	MEDIDAS (Centésimas de mm)														
1	0	6	11	23	29	32	35	35	32	27	22	15	5	±1	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

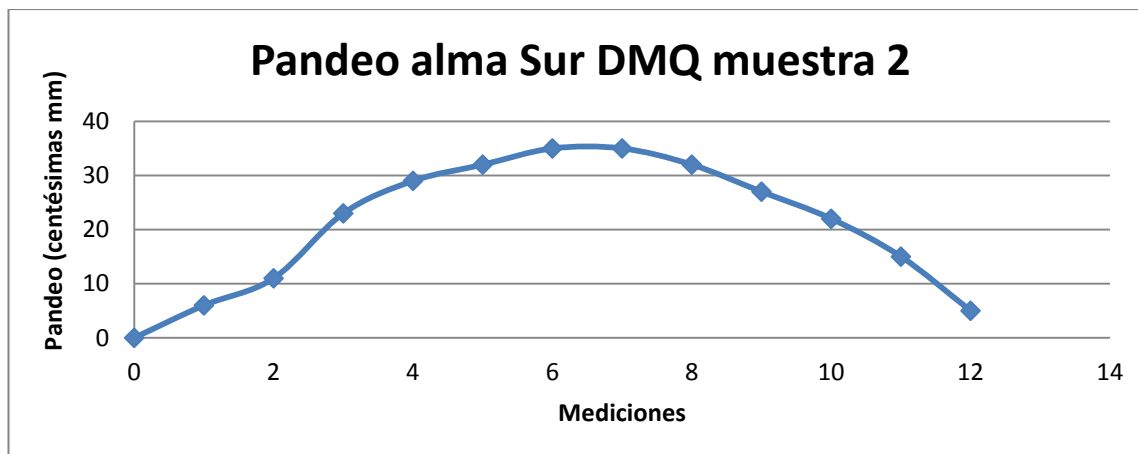


Fig. 39 Pandeo alma sector Sur DMQ muestra 2

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el lab. Metrología UFFAA-ESPE.

3.4.3. ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS MUESTRAS

Tabla 41 Tabla ensayos mecánicos Norte DMQ

Sector / Características Mecánicas	Norte			
	Muestra 1		Muestra 2	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ancho [mm]	39,78	40,12	40,08	39,76
Espesor [mm]	3,88	3,89	2,96	2,89
Área Transversal [mm ²]	154,35	156,07	118,64	114,91
Esfuerzo Ultimo σ_u [PSI]	57384,27	57389,87	66141,82	67917,62
Esfuerzo Fluencia σ_Y [PSI]	38394,46	37059,54	43354,97	45381,60
Relación σ_u/σ_y	1,49	1,55	1,53	1,50
Longitud Final [mm]	76,28	74,12	70,68	70,2
% de Elongación [%]	53	48	41	40

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

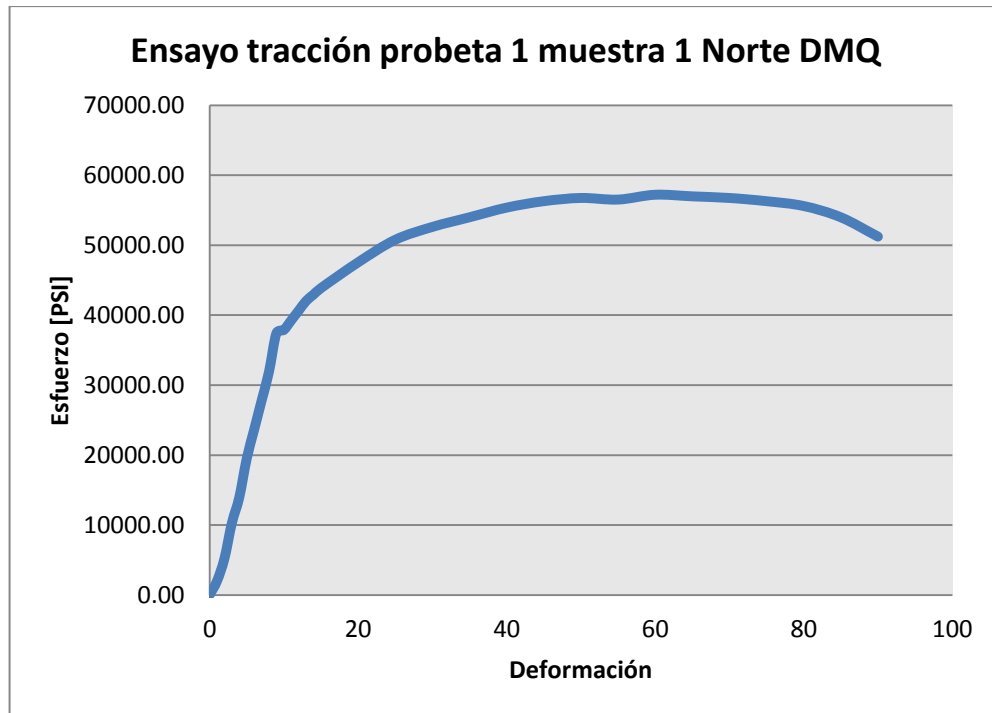


Fig. 40 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Norte DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

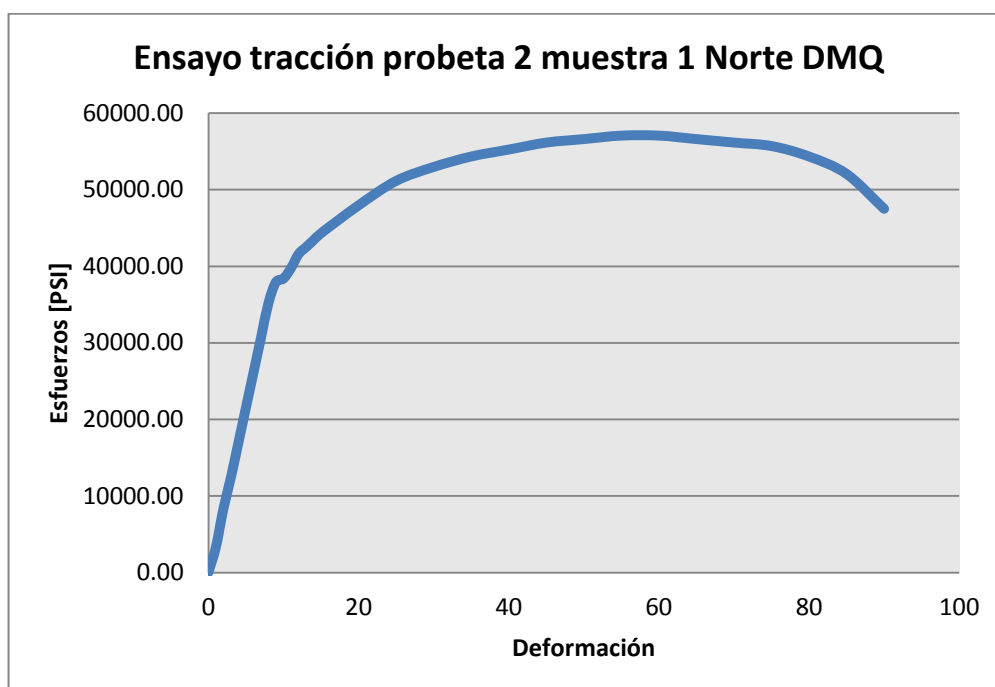


Fig. 41 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Norte DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

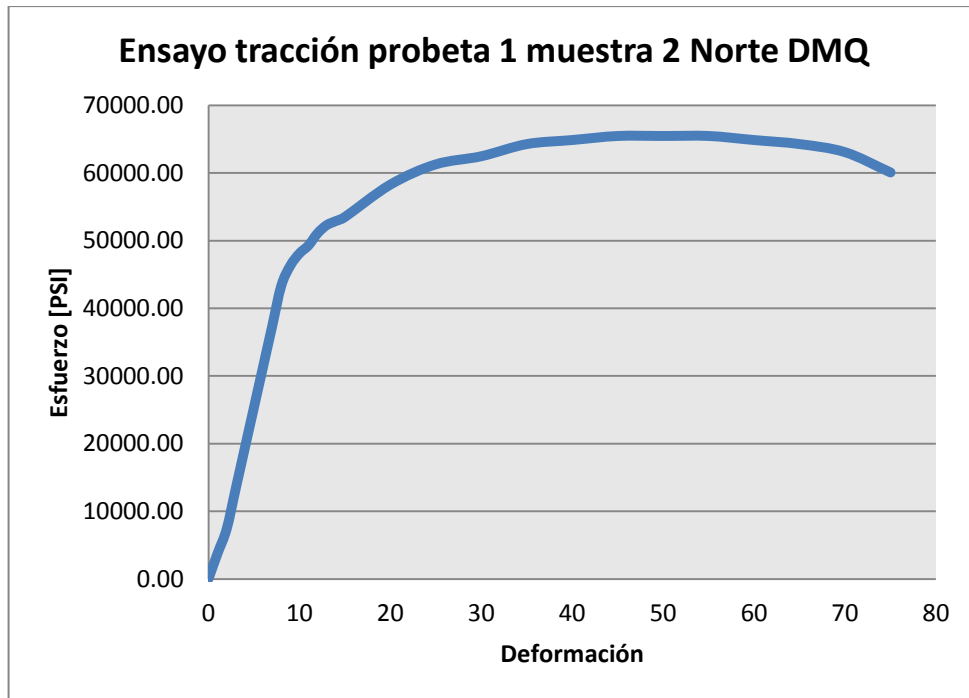


Fig. 42 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Norte DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

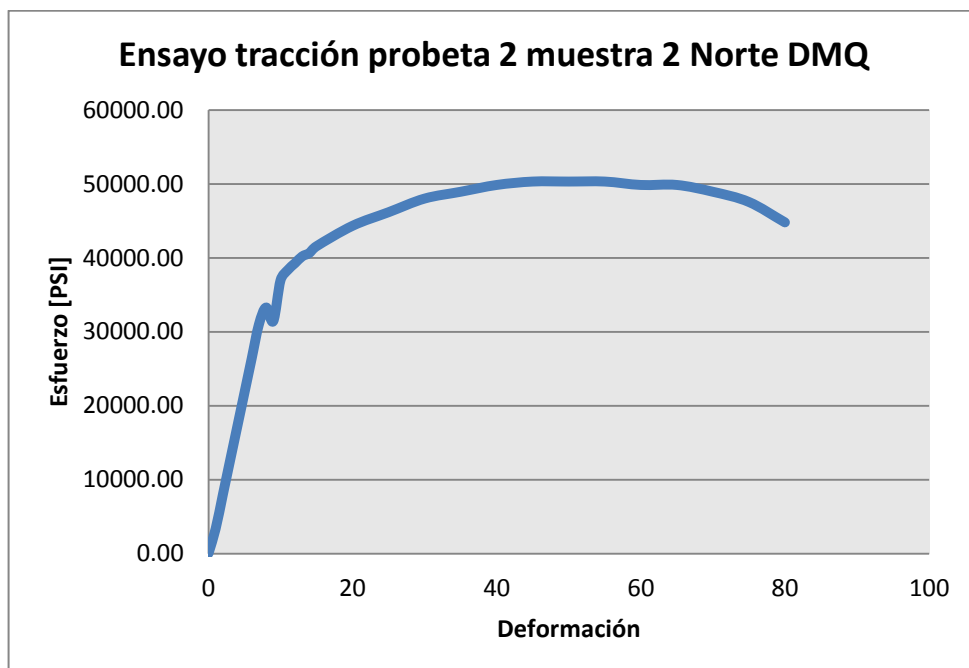


Fig. 43 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Norte DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

Tabla 42 Tabla ensayos mecánicos sector Centro DMQ

Tabla ensayos mecánicos Centro DMQ				
Sector / Características Mecánicas	CENTRO			
	Muestra 1		Muestra 2	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ancho [mm]	38,20	39,80	38,35	39,80
Espesor [mm]	2,85	2,95	2,00	2,05
Área Transversal [mm ²]	108,87	117,41	76,70	81,59
Esfuerzo Ultimo σ_u [PSI]	66847,85	65621,09	62793,31	67051,65
Esfuerzo Fluencia σ_y [PSI]	47244,38	52412,04	48509,45	51356,85
Relación σ_u/σ_y	1,41	1,25	1,29	1,31
Longitud Final [mm]	67,25	70,12	67,45	68,15
% de Elongación [%]	35	40	35	36

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

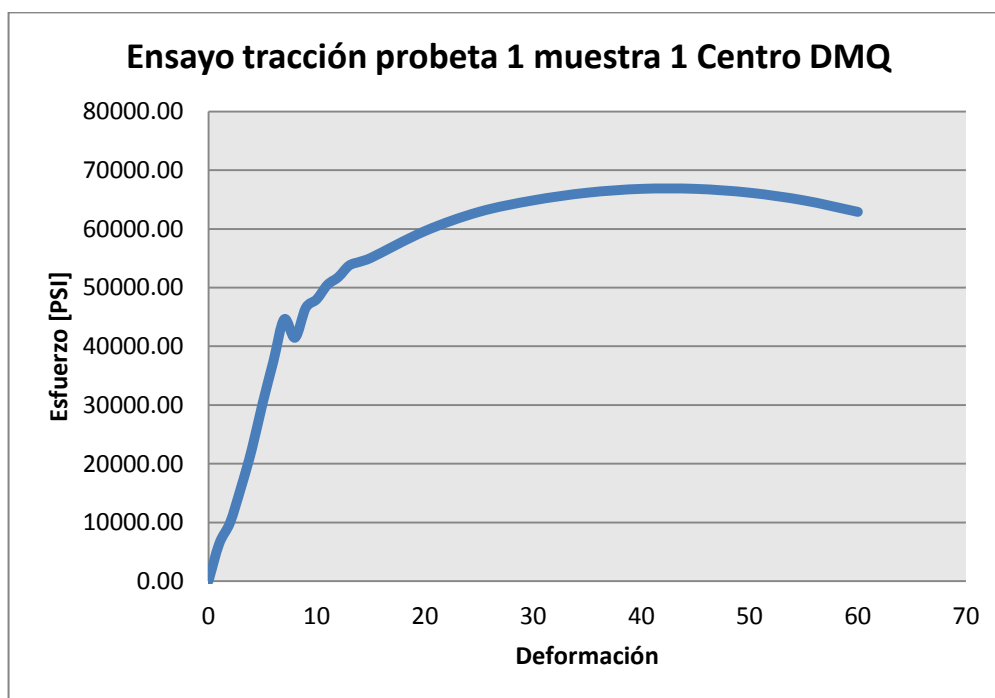


Fig. 44 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Centro DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

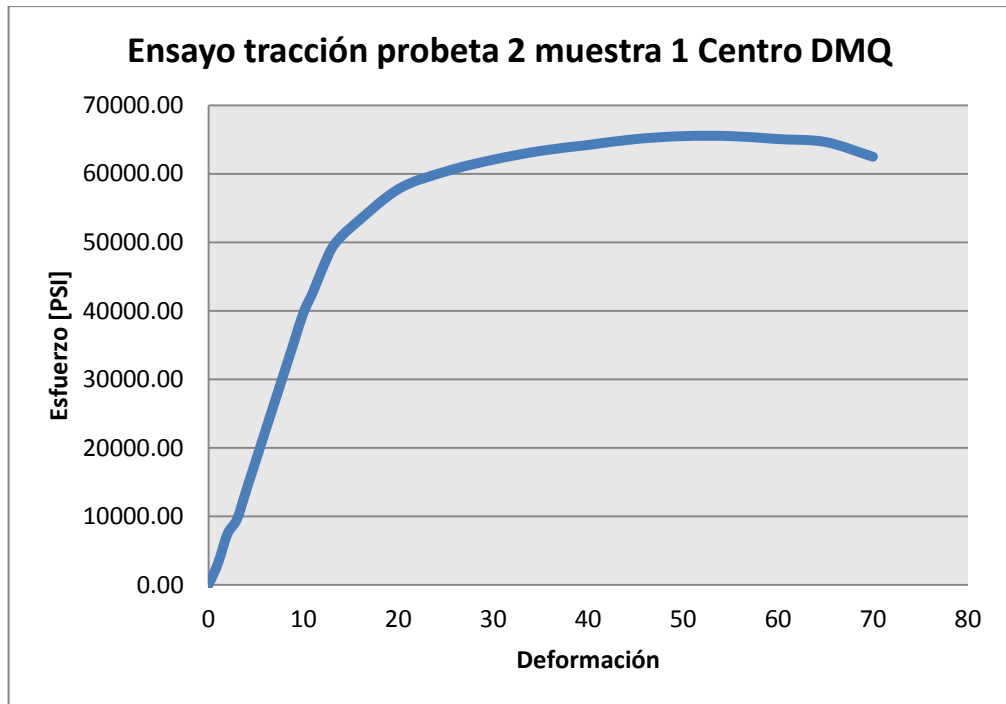


Fig. 45 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Centro DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

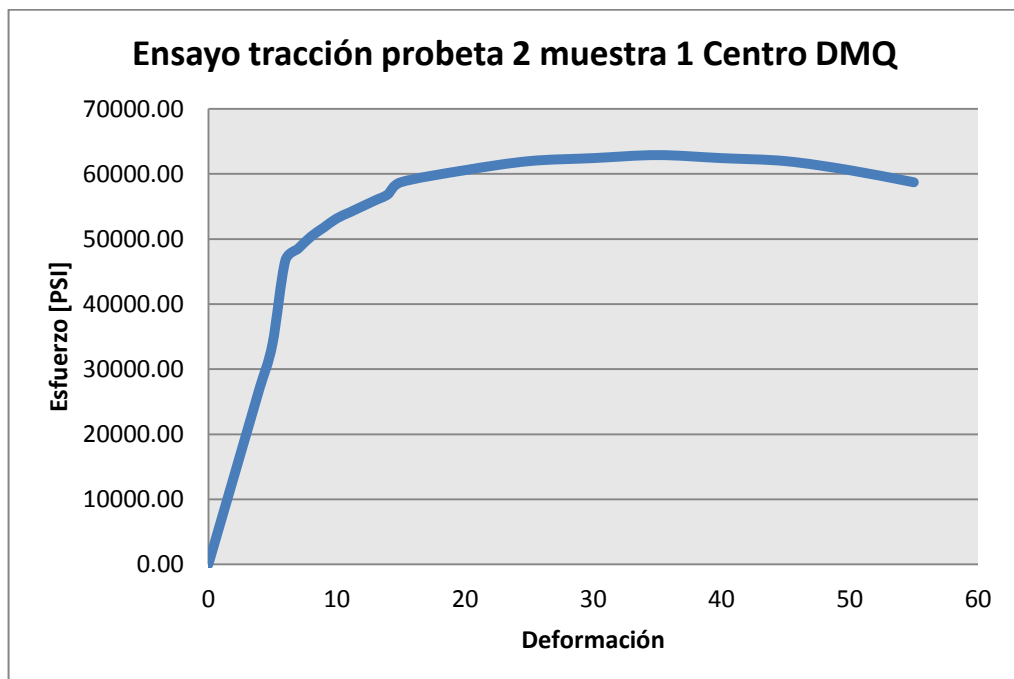


Fig. 46 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Centro DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

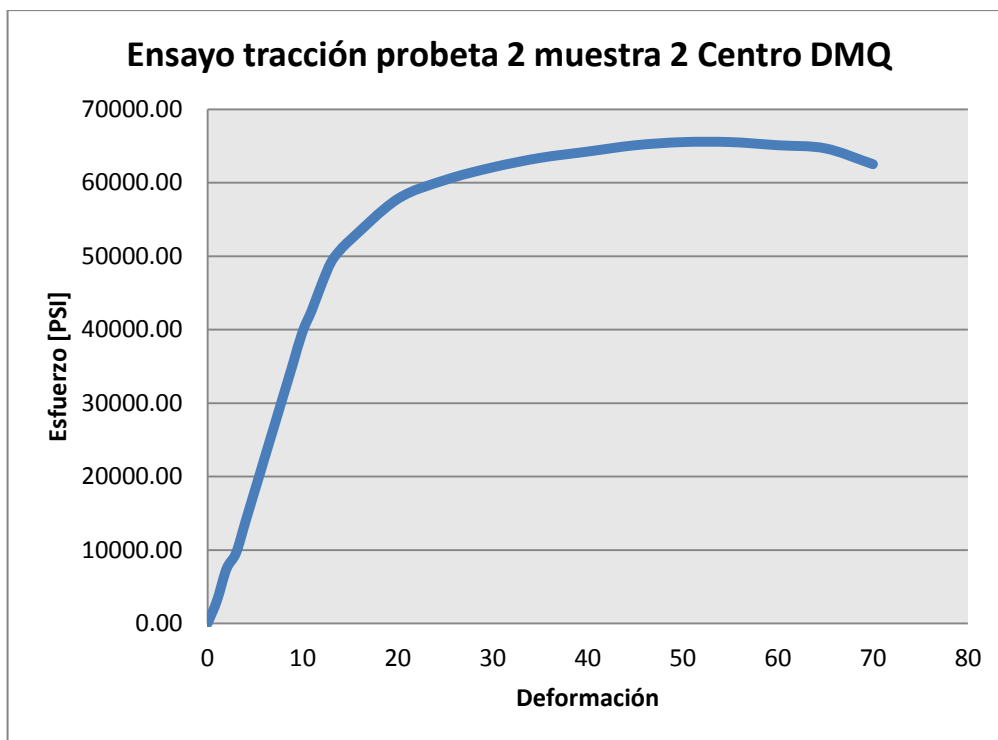


Fig. 47 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Centro DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

Tabla 43 Tabla ensayos mecánicos sector sur DMQ

Tabla ensayos mecánicos Sur DMQ				
Sector / Características Mecánicas	Sur			
	Muestra 1		Muestra 2	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ancho [mm]	40,27	40,20	40,28	40,13
Espesor [mm]	4,03	4,00	3,89	3,90
Área Transversal [mm ²]	162,29	160,80	156,69	156,51
Esfuerzo Ultimo σ_u [PSI]	68603,73	68707,71	70691,89	70501,45
Esfuerzo Fluencia σ_y [PSI]	47913,02	47914,00	41906,62	39682,64
Relación σ_u/σ_y	1,43	1,43	1,69	1,78
Longitud Final [mm]	70,28	70,23	71,65	70,3
% de Elongación [%]	41	40	43	41

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

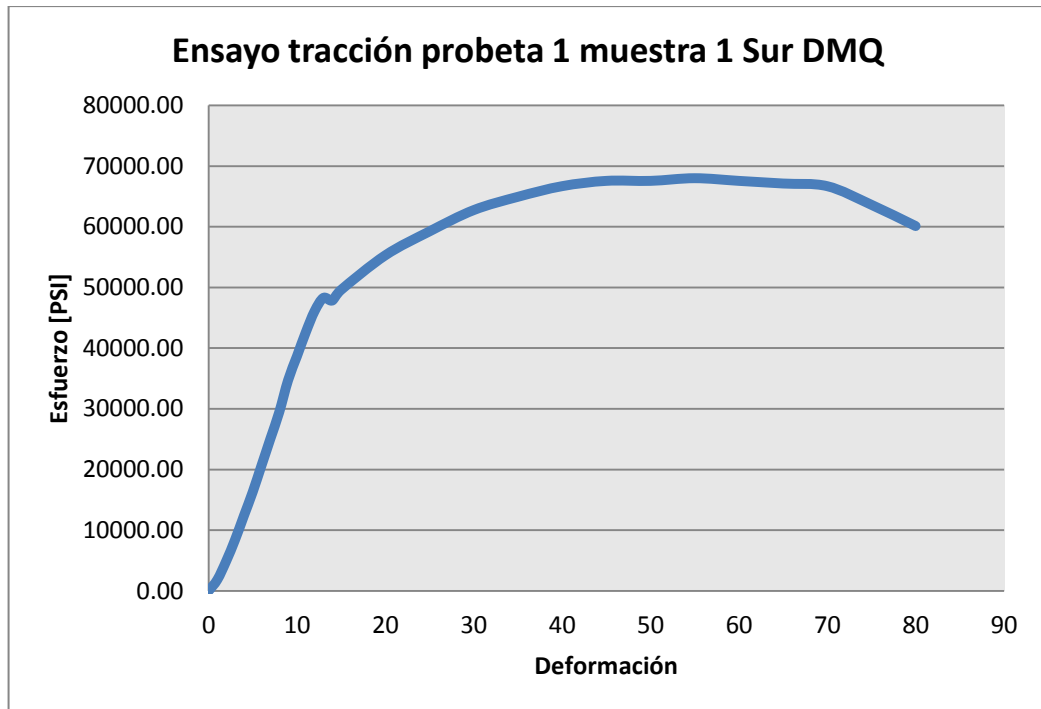


Fig. 48 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 1 sector Sur DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

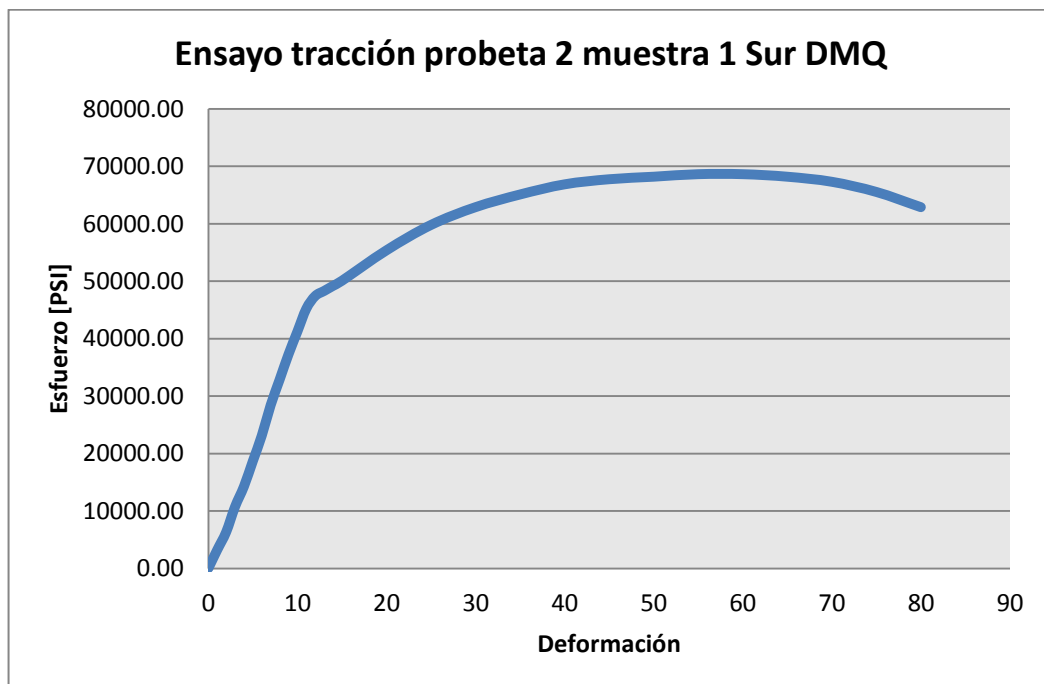


Fig. 49 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 1 sector Sur DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

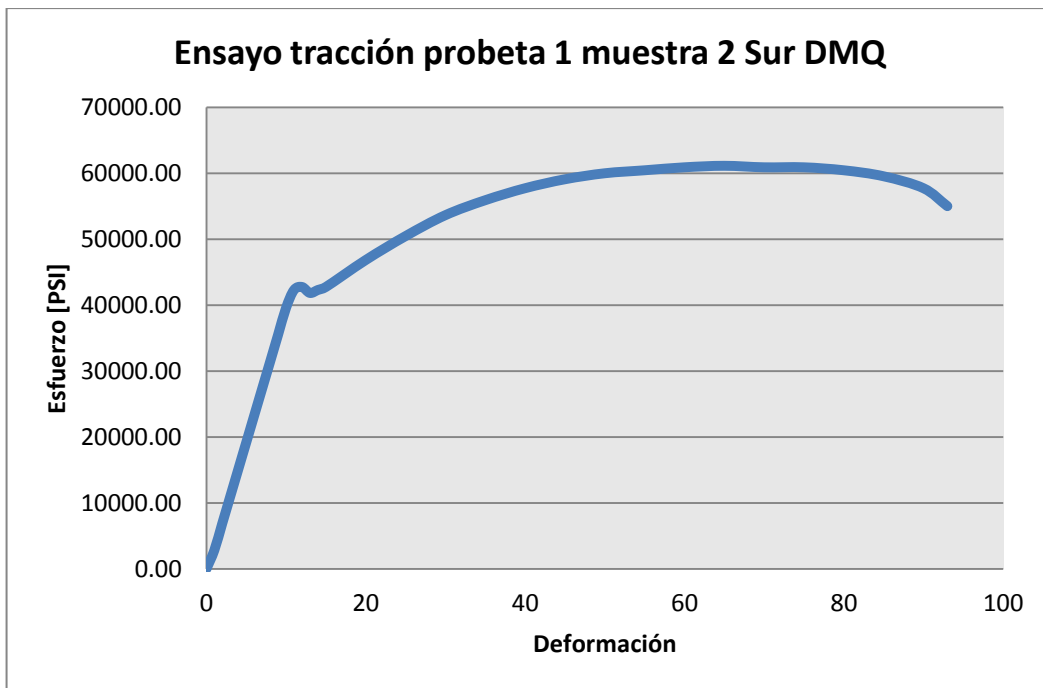


Fig. 50 Gráfica ensayo tracción probeta 1 muestra 2 sector Sur DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

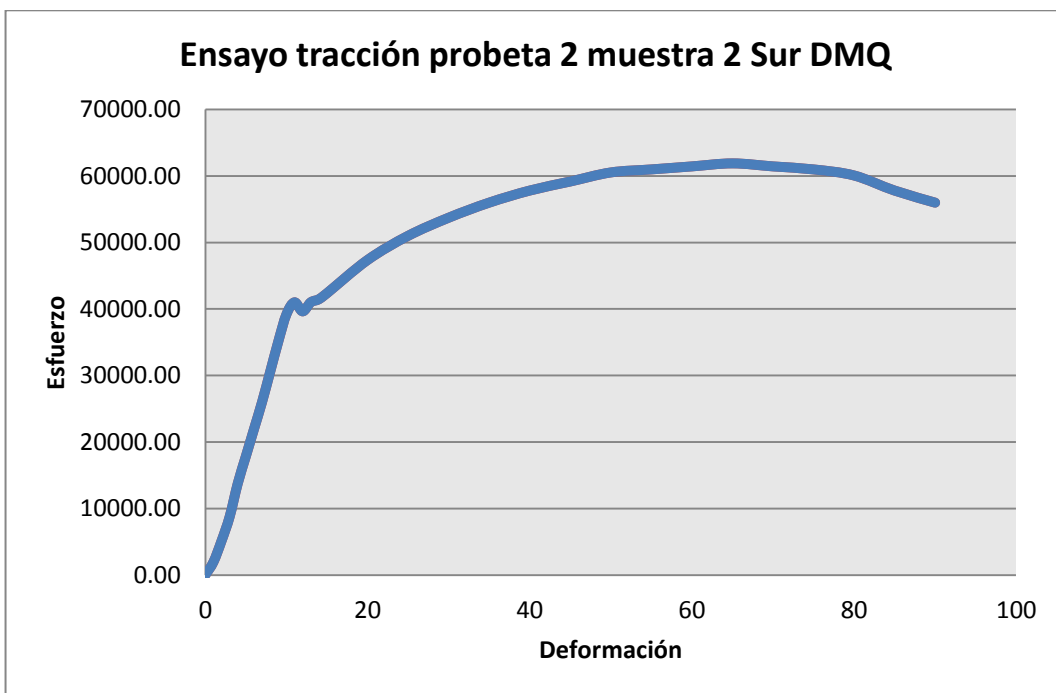


Fig. 51 Gráfica ensayo tracción probeta 2 muestra 2 sector Sur DMQ

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

Tabla 44 Tabla aceptación/rechazo ensayos mecánicos DMQ

Tabla aceptación/rechazo norma ASTM A36 ensayos mecánicos DMQ						
Sector / Características Mecánicas	NORTE		CENTRO		SUR	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Esfuerzo Ultimo σ_u [si]	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Esfuerzo Fluencia σ_y [si]	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Relación σ_u/σ_y	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
% de Elongación [%]	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos de las muestras en el LMM UFFAA-ESPE.

3.4.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Tabla 45 Propiedades químicas sector Norte DMQ

Propiedades químicas Norte DMQ					
Sector / Componente	Parámetros ASTM A36 [%]	Muestra 1	Aceptación /Rechazo ASTM A36	Muestra 2	Aceptación /Rechazo ASTM A36
Carbono (C)	0,26 máx.	0,080	Cumple	0,168	Cumple
Manganeso (Mn)	...	0,489	Cumple	0,636	Cumple
Silicio (Si)	0,04 máx.	0,028	Cumple	0,039	Cumple
Fósforo (P)	0,05 máx.	0,0155	Cumple	0,0125	Cumple
Azufre (S)	0.40 máx.	0,0141	Cumple	0,0114	Cumple
Cobre (Cu)	0,2 mín.	0,007	Cumple	0,012	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos del espectrómetro de chispa.

Tabla 46 Propiedades químicas sector Centro DMQ

Propiedades químicas Centro DMQ					
Sector / Componente	Parámetros ASTM A36 [%]	Muestra 1	Aceptación /Rechazo ASTM A36	Muestra 2	Aceptación /Rechazo ASTM A36
Carbono (C)	0,26 máx.	0,046	Cumple	0,046	Cumple
Manganeso (Mn)	...	0,266	Cumple	0,266	Cumple
Silicio (Si)	0,04 máx.	0,036	Cumple	0,036	Cumple
Fósforo (P)	0,05 máx.	0,0193	Cumple	0,0193	Cumple
Azufre (S)	0.40 máx.	0,0135	Cumple	0,0135	Cumple
Cobre (Cu)	0,2 mín.	0,012	Cumple	0,012	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos del espectrómetro de chispa.

Tabla 47 Propiedades químicas sector sur DMQ


Propiedades químicas Sur DMQ					
Sector / Componente	Parámetros ASTM A36 [%]	Muestra 1	Aceptación /Rechazo ASTM A36	Muestra 2	Aceptación /Rechazo ASTM A36
Carbono (C)	0,26 máx.	0,161	Cumple	0,149	Cumple
Manganeso (Mn)	. . .	0,473	Cumple	0,466	Cumple
Silicio (Si)	0,04 máx.	0,040	Cumple	0,028	Cumple
Fósforo (P)	0,05 máx.	0,0178	Cumple	0,0128	Cumple
Azufre (S)	0.40 máx.	0,0137	Cumple	0,0212	Cumple
Cobre (Cu)	0,2 mín.	0,012	Cumple	0,048	Cumple

Fuente: Propia, datos obtenidos del espectrómetro de chispa.

3.4.5. ENSAYOS METALÚRGICOS


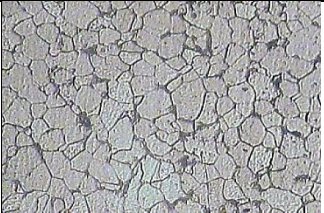
Los ensayos metalográficos (ver tablas de la 48 a la 50) no fueron realizados en la soldadura si no del material base, tanto horizontal y transversal, de acuerdo con las muestras (ver tablas de la 14 a la 16) de los diferentes sectores del DMQ.

Tabla 48 Ensayos metalúrgicos Norte DMQ

Ensayos metalúrgicos Norte DMQ			
Muestra 1 correa "G"		Muestra 2 perfil "c"	
Microestructura 200x		Microestructura 200x	
Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
			
Tamaño de grano		Tamaño de grano	
5.93	5.18	5.30	5.83
<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 1% durante 9 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita (áreas blancas) y con un porcentaje de perlita razonable (áreas negras). Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 2% durante 10 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita y con pocas áreas de perlita. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p>		<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 1% durante 15 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita y con un poco porcentaje de perlita. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 7 segundos, lo cual nos revela una microestructura formada por ferrita y con áreas de perlita considerables. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p>	


Fuente: Propia, datos obtenidos del Lab. Metalurgia UFFAA-ESPE.

Tabla 49 Ensayos metalúrgicos centro DMQ

Ensayos metalúrgicos Centro DMQ			
Muestra 1 correa "G"		Muestra 2 correa "G"	
Microestructura 200x		Microestructura 200x	
Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
			
Tamaño de grano		Tamaño de grano	
4.95	4.78	4.95	4.78
<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 8 segundos, lo cual revela una microestructura ferrítica (áreas blancas) con un porcentaje de perlita considerable (áreas negras). Una estructura granular poligonal (Equiaxial) con un tamaño de grano grueso delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 6 segundos, lo cual revela una microestructura ferrítica con un porcentaje de perlita considerable. Una estructura granular poligonal (Equiaxial) con un tamaño de grano grueso delineado.</p>		<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 7 segundos, lo cual revela una microestructura ferrítica, con un porcentaje de perlita considerable. Una estructura granular poligonal (Equiaxial) con un tamaño de grano grueso delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 7 segundos, lo cual revela una microestructura ferrítica, con un porcentaje de perlita considerable. Una estructura granular poligonal (Equiaxial) con un tamaño de grano grueso delineado.</p>	

Fuente: Propia, datos obtenidos del Lab. Metalurgia UFFAA-ESPE.

Tabla 50 Ensayos metalúrgicos Sur DMQ

Ensayos metalúrgicos Sur DMQ			
Muestra 1 correa "G"		Muestra 2 correa "G"	
Microestructura 200x		Microestructura 200x	
Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
			
Tamaño de grano		Tamaño de grano	
5.63	5.88	5.88	5.08
<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 6 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita (áreas blancas) y con un porcentaje de perlita razonable (áreas negras), una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 7 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita y con áreas de perlita considerable. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p>	<p>Longitudinal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 7 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita y con porcentaje razonable de perlita. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p> <p>Transversal: Esta muestra fue atacada con Nital al 3% durante 6 segundos, lo cual revela una microestructura formada por ferrita y con áreas de perlita considerable. Una estructura granular alargada, con un tamaño de grano fino delineado.</p>		

Fuente: Propia, datos obtenidos del Lab. Metalurgia UFFAA-ESPE.

3.4.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.

Tabla 51 Tabla de resultados calificación del material.

Sector / Características Mecánicas	Norte		Centro		Sur	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Características geométricas	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
Características mecánicas	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Microestructura	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Composición Química	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Propia

La falencia de los perfiles se encuentra en las características geométricas, mientras que los otros requisitos cumplen satisfactoriamente de acuerdo a las normas propuestas por este capítulo.

La falla de los perfiles, puede darse por muchas razones:

- Manipulación
- Transporte
- Almacenamiento
- Extracción de muestras

Se debe tomar en cuenta que los ensayos metalúrgicos, mecánicos, químicos a nivel estructural son de igual importancia que los geométricos, teniendo en cuenta que la falla obtenida, puede trascender a un nivel mayor ya que puede generar descentramientos del punto o área de aplicación de carga y podría ser causa de falla de una columna en un evento sísmico por lo tanto si hay que considerar estos defectos y solucionarlos.

CAPÍTULO 4

JUNTAS SOLDADAS

4.1. PARÁMETROS DE SOLDADURA

Los parámetros de soldadura se pueden definir como las variables esenciales y orientativas para realizar de manera efectiva el proceso de soldadura, existen parámetros tanto para el equipo, como para el material de aporte y para la habilidad del soldador.

4.1.1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)

La norma AWS D1.1 nos indica que al momento de soldar aceros A36 con espesores menores a 20 mm (Tabla 3.1 AWS D1.1), para el proceso de soldadura SMAW (soldadura por arco eléctrico protegido) se puede usar los electrodos E60XX o E70XX. Siendo los electrodos más usados en el DMQ son: E6011 y E7018, pero en el mismo documento literal C-5.3.2 nos informa que el uso de electrodos de bajo hidrógeno previene fisuras, el conocido fenómeno de fisuración generada por hidrógeno (HIC), por tales razones y según la norma AWS D1.8 Código de soldadura estructural-sísmica literal 6.3.2 se debe usar electrodos de bajo contenido de hidrógeno y con un mínimo de 70 ksi de resistencia a la tracción, tal como el electrodo E7018 por seguridad sísmica (ver tabla 52). Se demuestra que el electrodo E6011 que está siendo usado debería eliminarse en las construcciones de estructuras metálicas para asegurarse de una calidad estructural sísmica.

Tabla 52 Parámetros ideales en soldadura por arco eléctrico protegido (SMAW).

Parámetros ideales en soldadura por arco eléctrico protegido (SMAW)

Electrodo: E7018
Resistencia a la tracción: 81.000 psi
Elongación: 30-34%
Diámetro electrodo: 1/8 pulg.
Amperaje: 100-140

Fuente: Manual soldadura AGA.

4.1.2. SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA CON GAS DE PROTECCIÓN (GMAW).

La norma AWS D1.1 nos indica que al momento de soldar aceros A36 con espesores menores a 20mm (Tabla 3.1 AWS D1.1), para el proceso de soldadura GMAW (soldadura semiautomática con gas de protección) se puede usar el electrodo E70S - X. Según el manual Miller nos indica que se puede usar el electrodo E70S-6 para todo propósito (ver tabla 53), soldadura económica. En las construcciones se está usando este tipo de soldaduras generalmente en columnas y vigas.

Tabla 53 Parámetros ideales en soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW)

Parámetros ideales soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW)

Electrodo: ER 70 S – 6
Gas de protección: CO₂
Resistencia a la tracción: 80.000 psi
Elongación: 27.3%
Proceso MIG: Corto circuito
Diámetro electrodo: 0.035 – 0.045 pulg.
Amperaje: 180 - 190
Voltaje: 21 - 22
Velocidad alimentación alambre: 360 – 380 ipm ó 185 – 195 ipm respectivamente de acuerdo al diámetro.
Posición de soldeo: Plana

Fuente: Manual soldadura Miller

4.2. TIPOS DE JUNTAS

Los tipos de juntas que se pudieron visualizar en los diferentes sectores del DMQ dependen de factores como el tamaño y forma de los miembros que forman la junta, el tipo de carga, la cantidad de área en la junta disponible para soldar y el costo relativo de varios tipos de soldaduras. Existen cuatro tipos básicos de juntas soldadas con perfiles conformados en frío en una estructura metálica diseñada para viviendas las cuales son las que se ilustran en la Fig. 52, aunque en la práctica se consiguen muchas variaciones y combinaciones, por lo que se obtienen 6 tipos básicos de juntas soldadas y dos tipos de soldadura (ver Fig. 53):

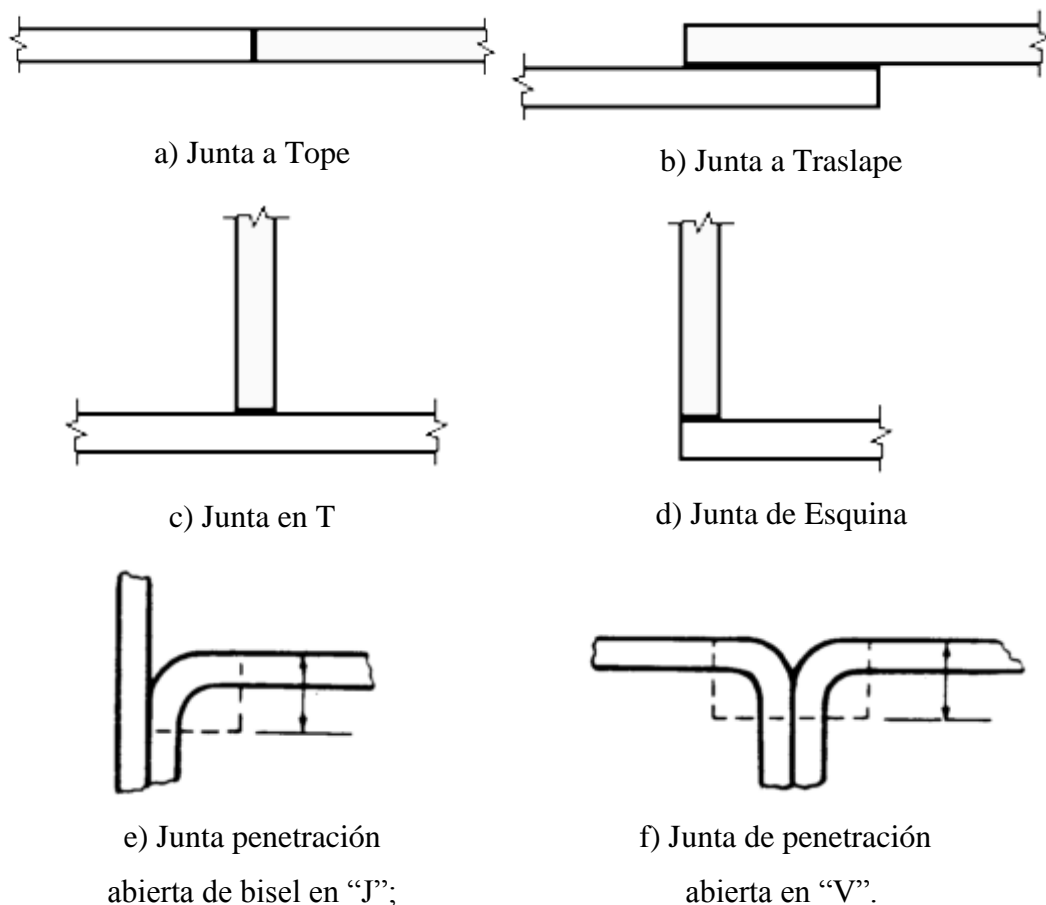


Fig. 52 Tipos Básicos de Juntas Soldadas

Fuente: AWS D1.1 Capitulo 3.

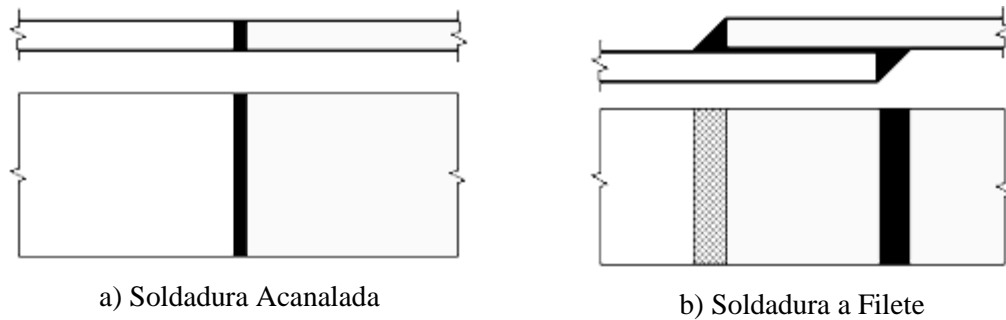


Fig. 53 Tipos de soldaduras.

Fuente: AWS D1.1 Capitulo 3.

4.2.1. JUNTA A TOPE

A este tipo de junta se le relaciona el tipo de soldadura acanalada y se la visualiza en la unión de dos perfiles “C” formando una columna o una viga dependiendo el caso y también en la unión columna-columna y viga-viga.

4.2.2. JUNTA EN “T”

A este tipo de junta se le relaciona el tipo de soldadura a filete y se la visualiza en la unión columna-viga o en la unión viga principal-viga secundaria.

4.2.3. JUNTA DE PENETRACIÓN ABIERTA EN “V”

A este tipo de junta se la puede considerar una junta a tope con penetración parcial con una abertura en “V” y se la visualiza en la unión de dos correas “G” para formar una columna o una viga según sea necesario.

4.3. PROCESOS DE SOLDADURA

Nos enfocamos en la especificación de procedimiento de soldadura, para ello nos guiamos en el código estructural AWS D1.1-10. Usamos procedimientos precalificados, con el fin de asegurarnos la calidad en la soldadura, tanto las juntas

como el proceso. A continuación nombraremos las partes que conforman un WPS (Especificación de procedimiento de soldadura).

- **Número de identificación:** Se detallara un nombre específico a cada tipo de junta, para llevar un control más idóneo.
- **Proceso de soldadura:** Los procesos más idóneos y más usados en el DMQ para estructuras metálicas con perfiles conformados en frío son; SMAW-GMAW. Norma AWS D1.1-10 literal 3.2.1.
- **Diseño de junta utilizado:** Donde se especificara el tipo de junta a utilizar (véase literal 4.2), al igual que su geometría. En caso de existir refuerzo se nombrara el material de dicho refuerzo. Norma AWS D1.1-10 literal 3.12 (Requerimientos PJP) y 3.13 (Requerimientos CJP).
- **Material base y material de aporte:** Se especificara el material base, con su respectivo grado y en el material de aporte se nombrara la especificación y clasificación AWS (véase Tablas 52 y 53). Norma AWS D1.1-10 Tabla 3.1
- **Protección:** Se debe cumplir los requisitos que nos dicta la norma AW D1.1, por lo tanto véase Gas de protección Norma AWS D1.1-10 literal 3.7.4 punto 2 y Manual de soldadura Miller.
- **Pre calentamiento:** Se especificara la temperatura mínima de pre calentamiento y temperatura mínima de interfase. Norma AWS D1.1-10 literal 3.5 y tabla 3.2, de acuerdo a los aceros enlistados en el código.
- **Posición:** Se especificará la posición de soldadura.
- **Características eléctricas:** Se mencionara el modo de transferencia (GMAW), corriente, fuente de alimentación. Véase manual de soldadura en conformidad de la máquina y fabricante del material de aporte.

- **Técnica:** Se detallara la técnica de soldadura para realizar el cordón y su limpieza respectiva.
- **Tratamiento térmico (PWHT):** No realizamos tratamiento térmico ya que estudiamos la afectación de la soldadura en perfiles conformados en frío.
- **Tabla procedimiento de soldadura:** En la tabla 54 se detalla la soldadura y los parámetros a intervenir.

Tabla 54 Tabla procedimiento de soldadura WPS.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase o Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metales de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Recorrido	Detalles de Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de Alimentación de Alambre			

Panilla N-1 (Frente)

Fuente: Norma AWS D1.1-10 Anexo N Ejemplos de planillas de soldadura.

4.4. SELECCIÓN DE JUNTAS Y PROCESOS DE SOLDADURA

Los tipos de juntas soldadas seleccionadas para nuestro estudio se enfocaran a la formación de columnas y vigas con perfiles y las conexiones posibles entre columnas y vigas con perfiles conformados en frío.

Los procesos de soldadura seleccionados para este tipo de estructuras metálicas se harán de acuerdo a lo observado en los diferentes sectores estudiados en el DMQ teniendo en cuenta la aplicación y viabilidad del mismo ya sea en campo o en taller.

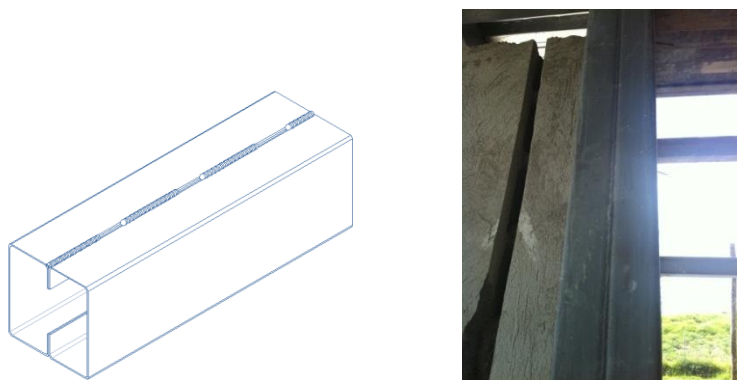


Fig. 54 Soldadura de penetración abierta en "v" (columna, viga) Sector Sur Hilluc

Fuente: Propia

Este tipo de junta soldada se consigue con la unión de dos correas “G” (ver Fig. 54) formando una columna o una viga, la soldadura puede ser intermitente o total, los procesos de soldadura calificados para este tipo de junta son SMAW y GMAW ya que son soldados en posición plana y los dos procesos cumplen las especificaciones necesarias.

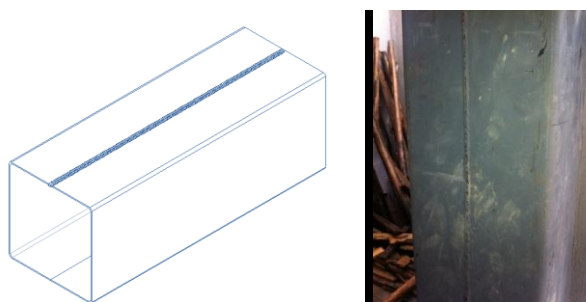


Fig. 55 Soldadura CJP a tope (columna-viga) Sector Norte-La Carolina

Fuente: Propia

Este tipo de junta soldada está formado por dos perfiles “C” (ver Fig. 55) formando una columna o viga, la soldadura puede ser intermitente o total, el proceso

de soldadura en esta junta es SMAW y GMAW en spray, para esto se debe soldar en posición plana.

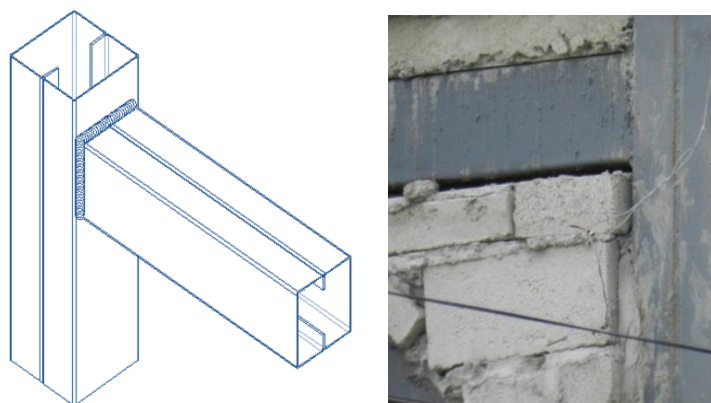


Fig. 56 Soldadura a filete (conexión columna-viga)

Fuente: Propia

Este tipo de junta conexión soldada está formado por una columna y una viga (ver Fig. 56), la soldadura debe ser total, el proceso de soldadura idóneo para este tipo de conexión es SMAW ya que cumple con todas las posiciones de soldeo como no es el caso de GMAW en spray, que solo cumple con posición plana.



**Fig. 57 Soldadura CJP a tope (conexión columna-columna, viga-viga)
Sector Sur-Hilluc**

Fuente: Propia

Este tipo de junta conexión soldada está formado por la unión columna-columna ó viga-viga (ver Fig. 57), la soldadura debe ser total, el proceso de soldadura idóneo para este tipo de conexión es SMAW ya que cumple con todas las posiciones de soldeo como no es el caso de GMAW en spray, por lo que no es apto para este tipo de junta.

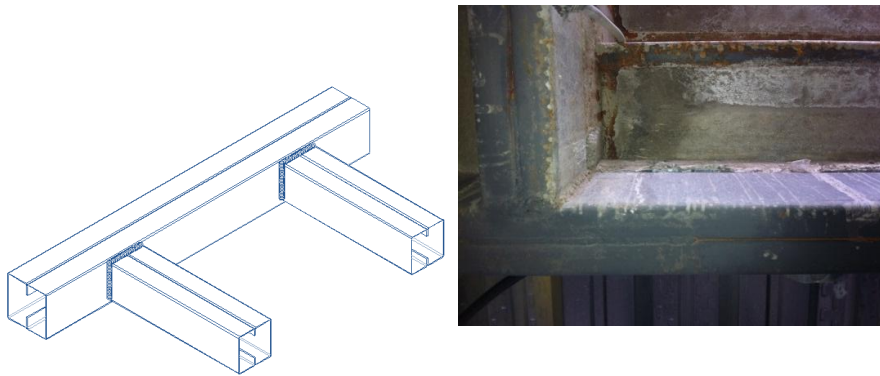


Fig. 58 Soldadura filete (conexión viga principal - viga secundaria)
Sector Centro-La Marín

Fuente: Propia

Este tipo de junta conexión soldada está formado por la unión viga principal y viga secundaria (ver Fig. 58), la soldadura debe ser total, el proceso de soldadura idóneo para este tipo de conexión es SMAW ya que cumple con todas las posiciones de soldeo como no es el caso de GMAW en spray, por lo que no es apto para este tipo de junta.

4.5. CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS

Las probetas para los ensayos se harán de acuerdo a las normas AWS D1.1. Ver Anexo G.

4.5.1. FLUJO GRAMA DE FABRICACIÓN.

El siguiente flujo grama (ver Fig. 59) muestra el procedimiento de fabricación de cada una de las muestras de cada una de las juntas a efectuarse, con su debido proceso de soldadura y si es el caso se realizará los dos procesos de soldadura (véase anexo D, E y F).

Para la extracción de probetas se verá en el literal 4.5.2. Se detallara cada uno de los ensayos a realizar en cada una de las juntas-conexiones. (Ver anexo G)

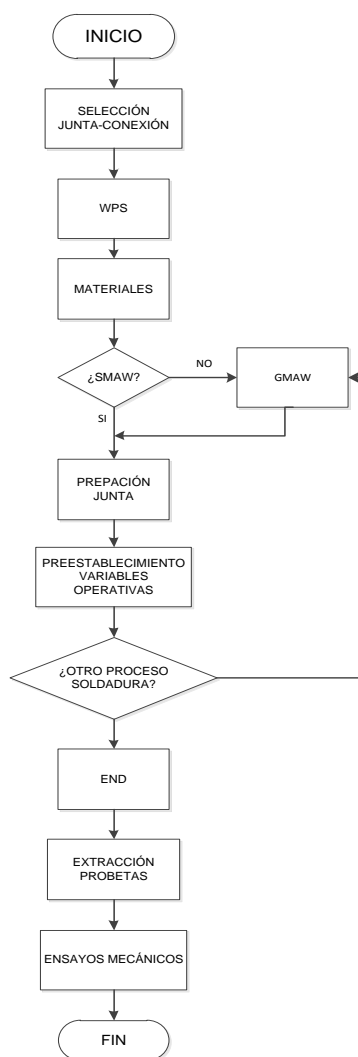


Fig. 59 Flujo grama de fabricación

Fuente: Propia

4.5.2. EXTRACCIÓN DE PROBETAS

Nos basamos en la tabla 8 (Calificación WPS-Soldaduras de canal CJP, PJP y filete: Número y tipo de muestras de ensayo y rango de espesor y diámetros calificado), para los ensayos respectivos y extracción de probetas de cada muestra (ver tabla 55).

Si un WPS no ha sido cubierto o si no han sido usados y probados en una junta a tope de penetración completa (CJP). Se debe extraer como primer paso una probeta para realizar un macro-ataque, para determinar el tamaño de soldadura y para los siguientes ensayos mecánicos se debe removido todo el material inferior en exceso hasta el espesor del tamaño de soldadura.

Tabla 55 Tabla extracción de probetas

EXTRACCIÓN DE PROBETAS		
Nombre	Referencia	Extracción Probetas
Soldadura de penetración abierta en "v" (columna, viga)	Fig. 52	Fig. 60
		Fig. 62
		Fig. 63
		Fig. 60
Soldadura CJP a tope (columna, viga)	Fig. 53	Fig. 62
		Fig. 63
		Fig. 61
Soldadura a filete (conexión columna-viga)	Fig. 54	Fig. 61
Soldadura CJP a tope (conexión columna-columna, viga-viga)	Fig. 55	Fig. 59
Soldadura filete (conexión viga principal - viga secundaria)	Fig. 56	Fig. 61

Fuente: Propia

Para la realización de nuestras probetas nos basamos según la norma AWS D1.1, sección 4. Calificación, parte B especificación del procedimiento de soldadura.

- Inspección visual.
- NDT
- Doblado de car, raíz y lado.
- Tracción en sección reducida
- Tracción en todo el metal de soldadura
- Macro-ataque.

4.5.3. FIGURAS AWS D1.1 EXTRACCIÓN DE PROBETAS

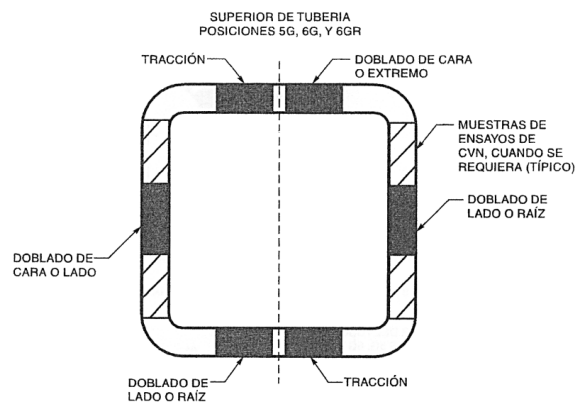


Fig. 60 Localización de las muestras para ensayos en una tubería soldada tipo cajón.

Fuente: Norma AWS D1.1, Figura 4.8.

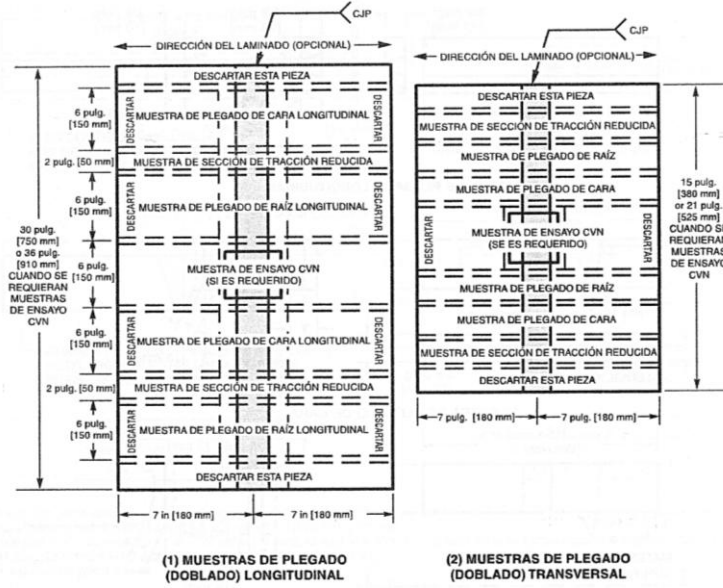


Fig. 61 Localización de muestras de ensayo en placas de ensayo de espesor 10mm y menor calificación WPS.

Fuente: Norma AWS D1.1, Figura 4.11.

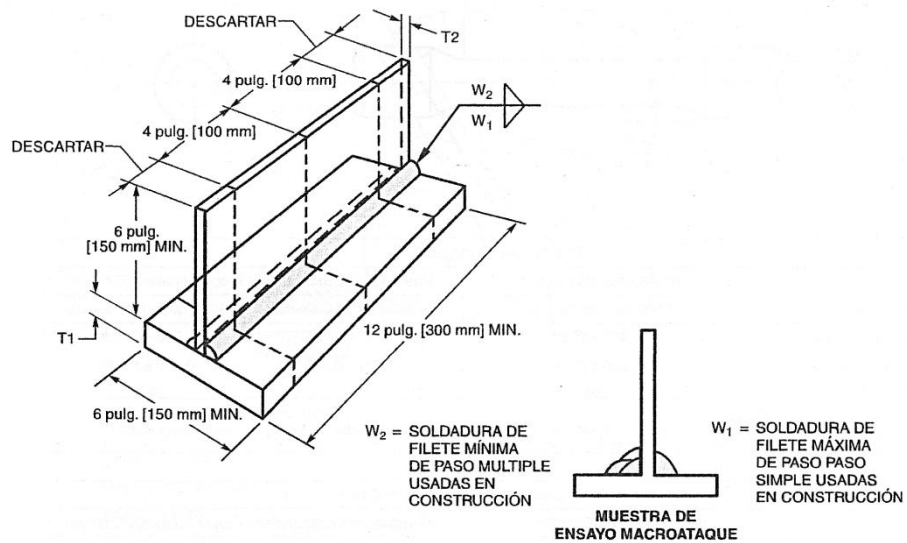


Fig. 62 Ensayos de sanidad de soldadura de filete para WPS.

Fuente: Norma AWS D1.1, Figura 4.19.

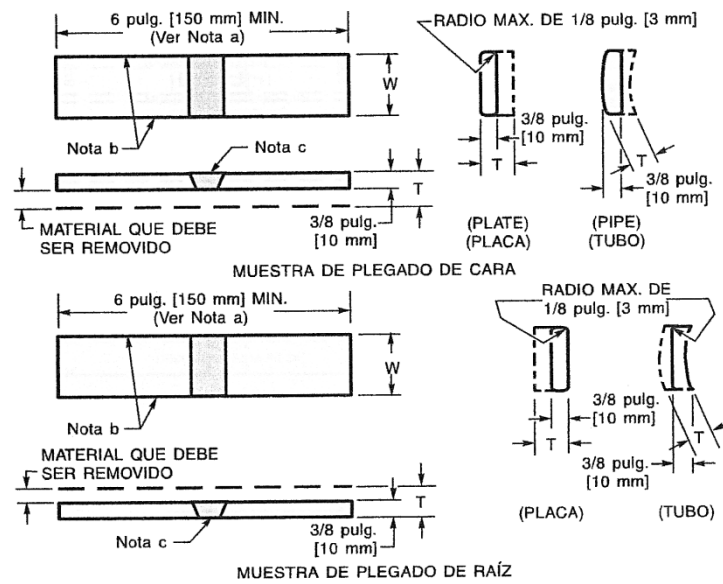
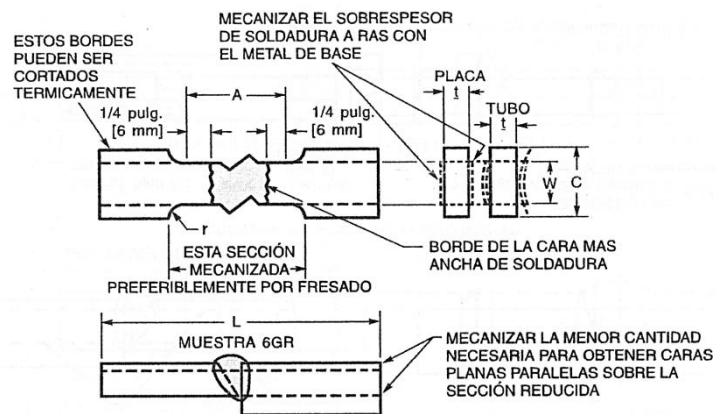


Fig. 63 Muestra de doblado de cara y raíz.

Fuente: Norma AWS D1.1, Figura 4.12.



Dimensiones en pulgadas [mm]						
	Espesor de la Placa de Ensayo, T_p			Tubo de Ensayo		
	$T_p \leq 1$ pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm] < $T_p < 1-1/2$ pulg. [38 mm]	$T_p \geq 1-1/2$ pulg. [38 mm]	2 pulg. [50 mm] & 3 pulg. [75 mm] Diámetro	6 pulg. [150 mm] & 8 pulg. [200 mm] Diámetro o el Mayor Tamaño del Tubo	
A—Longitud de la sección reducida	Cara mas ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] min.			Cara mas ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] min.		
L—Longitud total, min. ^a	Segun lo requerido por el equipo de ensayo					
W—Ancho de la sección reducida ^{b,c}	3/4 pulg. [20 mm] min.	3/4 pulg. [20 mm] min.	3/4 pulg. [20 mm] min.	1/2 ± 0.01 (12 ± 0.025) min.	3/4 pulg. [20 mm] min.	
C—Ancho de la sección de agarre ^{c,d}	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	
t—Espesor de la muestra ^{e,f}	T_p	T_p	T_p/n (Nota f)	El máximo posible con caras planas y paralelas dentro del largo A		
r—Radio de filete, min.	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1 pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm]	

Fig. 64 Muestra de la tracción de la sección Reducida.

Fuente: Norma AWS D1.1, Figura 4.14.

4.5.4. ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURAS (WPS) PARA CADA MUESTRA.

A pesar de que nuestros procedimientos son basados en la recolección de datos alrededor del DMQ, realizamos especificaciones de procedimiento de soldaduras (WPS), explicando cómo se han soldado cada una de las juntas y conexiones vistas en el literal 4.4. Selección de juntas y procesos de soldadura. Véase anexo F.

CAPÍTULO 5

ENSAYOS MECÁNICOS Y METALOGRAFICOS DE JUNTAS SOLDADAS

5.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

5.1.1. INSPECCIÓN VISUAL

Aplicando esta técnica y según nuestro flujo grama Fig. 65 visualizamos los diferentes tipos de discontinuidades según su geometría, y la calidad de la soldadura a nivel superficial. Para esto se tendrán criterios de aceptación y rechazo de acuerdo a la Norma AWS D1.1 Sección 6 de Inspección como se muestra en la tabla 56.

Tabla 56 Criterios de aceptación para inspección visual

Criterios de aceptación para inspección visual		
Grado de Discontinuidad	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente
(1) Prohibición de grietas	x	x
(2) Fusión de soldadura/metal base	x	x
(3) Cráter en la sección transversal	x	x
(4) Perfiles de soldadura	x	x
(5) Tiempo de inspección	x	x
(6) Soldaduras de poco tamaño	x	x
(7) Socavado		
Socavado (A)	x	
Socavado (B)		x
(8) Porosidad		
Porosidad (A)	x	
Porosidad (B)		x
Porosidad (C)		x

Fuente: Tabla 6.1 AWS D1.1 Sección Inspección

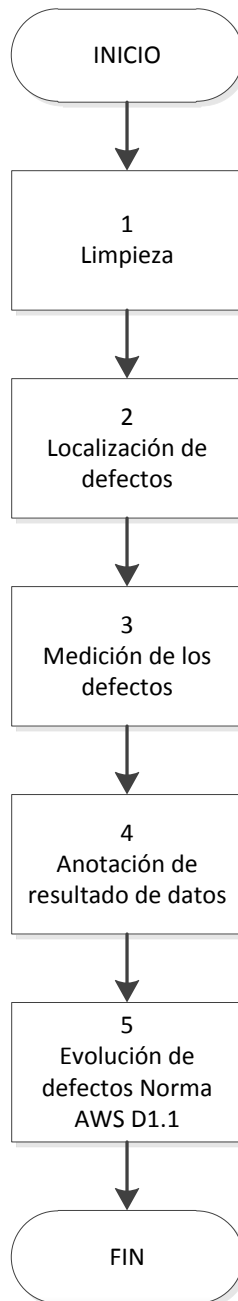


Fig. 65 Diagrama de flujo de inspección visual.

Fuente: Propia

Tabla 57 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector norte DMQ

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Norte DMQ										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	-	-	-	-	X	-	Concentrador de esfuerzo/Socavado mayor de 1 mm	No cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	-	-	-	-	-	X	Concentrador de esfuerzo/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-A	Tope	-	-	-	X	-	-	-	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G- A,B	Tope	-	-	-	X	-	-	X	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/2 concentradores de esfuerzos/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-B	Tope	-	-	-	X	-	-	X	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Concentrador de esfuerzo/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G- B,A	Tope	-	-	-	X	-	-	-	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm	No cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	X	X	-	-	-	Cráter(2)/Exceso soldadura convexidad más de 3 mm	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) Sector Norte DMQ (continuación)										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	-	-	-	x	Cráter(2)/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A	Tope	-	-	x	-	-	x	-	Socavado mayor a 2 mm/Presencia de cráter al final y principio del cordón	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A,B	Tope	-	-	-	-	-	-	x	Defecto geométrico entre perfiles/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B	Tope	-	-	-	x	-	-	x	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B,A	Tope	-	-	x	x	-	-	x	Presencia de cráter al principio y final del cordón/Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Tope	-	-	-	x	-	-	x	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de poros aleatorios	No cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Tope	-	-	x	x	-	-	x	Cráter/Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de poros	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Norte DMQ (continuación)

Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A	Tope	-	-	X	-	-	-	X	Cráter al extremo del cordón/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A,B	Tope	-	-	X	-	-	-	X	Cráter al extremo del cordón/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B	Tope	-	-	-	-	-	-	-		Cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B,A	Tope	-	-	X	-	-	-	-	Cráter al extremo del cordón	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-2F	Filete	-	-	-	-	-	-	-	Presencia de salpicadura	Cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-A	Filete	-	-	-	X	-	-	X	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-B	Filete	-	-	-	-	-	-	-		Cumple
SMAW-Columna-VigaP-4F	Filete	-	-	-	-	X	-	-	Soldadura poco tamaño menor a 3 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-2F	Esquina	-	-	-	-	-	X	X	Socavado mayor a 1 mm/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-3F-A	Filete	-	-	X	-	-	-	X	Traslape de soldadura/Presencia de cráter al extremo del cordón/Frecuencia de porosidad	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Norte DMQ (continuación)

Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaP-VigaS-3F-B	Filete	-	-	X	X	-	-	X	Presencia de cráter al principio y final del cordón/Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-4F	Esquina	-	-	-	X	-	-	X	Exceso de soldadura convexidad más de 3 mm	No cumple

Nota:

- Concentrador de esfuerzos: Se deben a varillas soldadas, las cuales se usan para realizar palanca en los perfiles y poder ser soldados uniformes, y luego ser retiradas las varillas.
- Mal arranque de electrodo: Donde el electrodo ha tenido contacto con el material base, en un lugar relativamente lejano al cordón de soldadura.
- Cordón no continuo: La forma del cordón no es homogénea a su largo, tanto en ancho, alto y presentación.

Fuente: Propia

Tabla 58 Ensayo de inspección visual juntas soldadas GMAW sector norte DMQ

Ensayo inspección visual GMAW (E70S-6) sector Norte DMWQ										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
GMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	-	-	-	-	x	x	Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
GMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	-	-	-	-	-	-	Sin discontinuidades	Cumple
GMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	-	-	-	-	-	Poca continuidad del cordón de soldadura	Cumple
GMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	-	-	-	-	Presencia de cráter	No cumple
GMAW-VigaS-1G-A	Tope	-	x	x	x	-	-	x	Exceso soldadura convexidad más de 3,5 mm/Falta de fusión/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
GMAW-VigaS-1G-B	Tope	-	x	-	x	-	-	-	Falta de fusión/Exceso soldadura convexidad más de 4 mm	No cumple

Nota:

- Concentrador de esfuerzos: Se deben a varillas soldadas, las cuales se usan para realizar palanca en los perfiles y poder ser soldados uniformes, y luego ser retiradas las varillas.
- Mal arranque de electrodo: Donde el electrodo ha tenido contacto con el material base, en un lugar relativamente lejano al cordón de soldadura.
- Cordón no continuo: La forma del cordón no es homogénea a su largo, tanto en ancho, alto y presentación.

Fuente: Propia



Norte SMAW Viga principal (Alta densidad de poros)



SMAW Viga principal (Cráter)



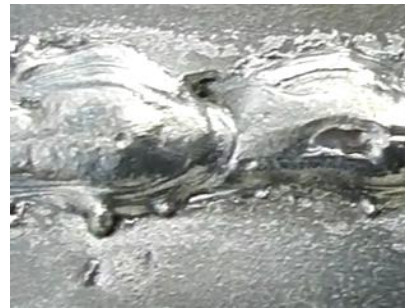
Norte SMAW Columna Extensión (Falta de fusión, perfiles de soldadura)

Fig. 66 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso SMAW Norte

Fuente: Propia



Norte GMAW Viga principal (cráter)



Norte GMAW Viga secundaria (poros, cráter)



Norte GMAW Viga secundaria (falta de homogeneidad, perfiles de soldadura)

Fig. 67 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Norte

Fuente: Propia

Tabla 59 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector centro DMQ

Ensayo de inspección visual SMAW (E6011) sector Centro DMQ										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	x	-	-	-	-	-	Falta de fusión en junta	No Cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-A	Tope	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-A,B	Tope	-	-	-	-	-	-	-	Sin defectos	Cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-B	Tope	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-B,A	Tope	-	-	-	-	-	-	-	Sin defectos	Cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	-	-	-	x	-	Socavado mayor a 1mm	No Cumple
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	-	-	-	-	-	Falta de continuidad en cordón	Cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A	Tope	-	-	x	-	-	-	x	Cráter(1)/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A,B	Tope	-	-	x	-	-	-	x	Cráter(1)/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B	Tope	-	-	x	-	-	-	x	Cráter(1)/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B,A	Tope	-	-	-	-	-	-	-	Traslape de soldadura	Cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta(2)/Cráter en cada cordón	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta(1)/Cráter en cada cordón	No Cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A	Tope	-	x	x	-	-	-	-	Falta de fusión en junta/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A,B	Tope	-	-	x	-	-	-	x	Cráter(1)/Frecuencia porosidad en menos de 100 mm	No Cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E6011) sector Centro DMQ (continuación)										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B	Tope	-	X	X	-	-	-	X	Discontinuidad cordón /Salpicadura/Cráter/Fusión	No Cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B,A	Tope	-	X	X	-	-	-	-	Falta de fusión en junta(1)/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-Columna-VigaP-2F	Filete	-	-	X	X	-	-	-	Exceso soldadura convexidad más de 2 mm/Cráter(1)	No Cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-A	Filete	-	-	-	X	-	-	-	Exceso soldadura filete convexidad más de 2 mm	No Cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-B	Filete	-	-	-	X	-	-	-	Exceso soldadura filete convexidad más de 2 mm	No Cumple
SMAW-Columna-VigaP-4F	Filete	-	X	X	X	-	-	-	Exceso soldadura/Falta de Fusión/Cráter	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaS-2F	Esquina	-	X	X	X	-	-	-	Exceso soldadura/Falta de Fusión/Cráter	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaS-3F-A	Filete	-	X	-	-	-	-	-	Falta de fusión	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaS-3F-B	Filete	-	-	X	-	-	-	-	Presencia de cráteres al finalizar el cordón de soldadura	No Cumple
SMAW-VigaP-VigaS-4F	Esquina	-	X	X	X	-	-	X	Traslape de soldadura/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No Cumple

Nota:

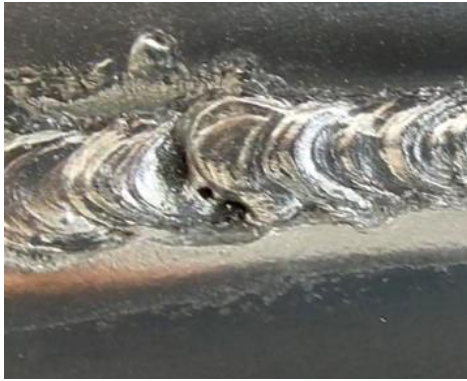
Cordón no continuo:

La forma del cordón no es homogénea a su largo, tanto en ancho, alto y presentación.

Traslape de soldadura:

Defecto de soldadura cuando el material de aporte, cubre por encima al material base.

Fuente: Propia



Centro SMAW Columna (falta de fusión, fusión no uniforme, poros)



Centro SMAW Viga secundaria (cráter, falta de fusión)



Centro SMAW Viga principal (poros)

Fig. 68 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso SMAW Centro

Fuente: Propia

Tabla 60 Ensayo de inspección visual juntas soldadas SMAW sector Sur DMQ

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Sur DMQ										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráteres al finalizar cada cordón/Socavado acumulado/Poro redondo de 2,75 mm	No cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	x	x	-	-	X	x	Presencia de cráteres al finalizar cada cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-A	Tope	-	x	x	x	-	X	-	Concentrador de esfuerzo/Mal arranque de electrodo/Exceso de soldadura convexidad mayor a 3 mm/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-A,B	Tope	-	-	x	-	-	X	-	Concentrador de esfuerzo/Presencia de cráter al finalizar cada cordón	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-B	Tope	-	-	x	-	-	X	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-Columna,Columna-2G-B,A	Tope	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	x	-	-	X	-	Concentrador de esfuerzo/Presencia de cráter al finalizar cada cordón/Socavado acumulado	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Sur DMQ (continuación)										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A	Tope	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-A,B	Tope	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B	Tope	-	-	x	-	-	X	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-VigaP-VigaP-1G-B,A	Tope	-	-	x	-	-	X	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	-	-	-	-	X	x	Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100mm	No cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	-	x	-	-	-	x	Presencia de cráter al finalizar cada cordón/Frecuencia de poros en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A	Tope	-	-	x	-	-	X	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-A,B	Tope	-	-	x	x	-	-	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Exceso soldadura convexidad mayor a 2 mm	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E07018) sector Sur DMQ (continuación)

Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B	Tope	-	-	x	-	-	X	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-VigaS-VigaS-1G-B,A	Tope	-	-	x	-	-	-	-	Mal arranque de electrodo/Presencia de cráteres a los extremos del cordón	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-2F	Filete	-	x	-	-	x	X	-	Cordón no continuo/Falta de fusión/Soldadura de poco tamaño menor a 3 mm/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-A	Filete	-	-	-	-	-	X	x	Frecuencia de porosidad/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-B	Filete	-	x	x	-	-	X	x	Falta de fusión/Cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-4F	Filete	-	x	x	-	x	X	x	Cordón no continuo/Falta de fusión/Presencia de cráter a los extremos del cordón/Soldadura de poco tamaño menor a 3mm/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-2F	Filete	-	-	x	-	-	X	-	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-3F-A	Filete	-	-	x	-	x	-	x	Presencia de cráter a los extremos del cordón/Soldadura de poco tamaño menor a 3 mm/Frecuencia de porosidad en menos de 100mm	No cumple
SMAW-VigaP-VigaS-3F-B	Filete	-	-	-	-	-	X	-	Socavado acumulado	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual SMAW (E7018) sector Sur DMQ (continuación)

Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-VigaP-VigaS-4F	Filete	-	x	x	-	x	X	x	Falta de fusión/Presencia de cráter a los extremos del cordón/Soldadura de poco tamaño menor a 3mm/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple

Nota:

- Concentrador de esfuerzos: Se deben a varillas soldadas, las cuales se usan para realizar palanca en los perfiles y poder ser soldados uniformes, y luego ser retiradas las varillas.
- Mal arranque de electrodo: Donde el electrodo ha tenido contacto con el material base, en un lugar relativamente lejano al cordón de soldadura.
- Cordón no continuo: La forma del cordón no es homogénea a su largo, tanto en ancho, alto y presentación.
- Traslape de soldadura: Defecto de soldadura cuando el material de aporte, cubre por encima al material base.
- Salpicadura: Gotas no deseadas del material de aporte sobre el material base.

Fuente: Propia

Tabla 61 Ensayo de inspección visual juntas soldadas GMAW sector sur DMQ

Ensayo de inspección visual GMAW (E70S-6) sector Sur DMQ										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
GMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	x	x	x	-	x	x	Falta de fusión/Presencia de cráteres intermitentes/Exceso soldadura convexidad mayor a 3 mm/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
GMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	x	x	-	-	-	x	Falta de fusión/Traslape de soldadura/Concentrador de esfuerzo/Presencia de cráter intermitente/Frecuencia de porosidades en menos de 100 mm	No cumple
GMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	x	-	-	-	-	Traslape de soldadura/Presencia de cráter	No cumple
GMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	-	-	x	x	Presencia de cráter/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
GMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	-	x	-	-	-	-	Traslape de soldadura/Presencia de cráter	No cumple
GMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	-	x	x	-	x	x	Presencia de cráter/Exceso de soldadura convexidad mayor a 3mm/Socavado acumulado/Poro lineal	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-2F	Filete	-	x	x	-	x	x	-	Falta de fusión/Presencia de cráter/Soldadura de poco tamaño menor a 3 mm/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-3F-A	Filete	-	x	-	-	-	x	-	Falta de fusión/Socavado acumulado	No cumple

continua...

Ensayo de inspección visual GMAW (E70S-6) sector Sur DMQ (continuación)										
Nro. de identificación	Junta	Discontinuidad soldadura							Observación	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Cráter	Perfiles soldadura	Sold. poco tamaño	Socavado	Porosidad		
SMAW-Columna-VigaP-3F-B	Filete	-	-	-	x	-	x	x	Falta de fusión/Exceso soldadura convexidad mayor a 3 mm/Socavado acumulado/Poro redondeado más de 2.5 mm	No cumple
SMAW-Columna-VigaP-4F	Filete	-	-	-	x	x	x	x	Presencia de cráter/Soldadura de poco tamaño menor a 3 mm/Exceso de soldadura convexidad mayor a 3 mm/Socavado acumulado/Poro lineal	No cumple
SMAW-ViSaP-VigaS-2F	Filete	-	-	-	-	-	x	-	Socavado acumulado	No cumple
SMAW-ViSaP-VigaS-3F-A	Filete	-	-	x	-	-	x	-	Presencia de cráter/Socavado acumulado	No cumple
SMAW-ViSaP-VigaS-3F-B	Filete	-	-	x	-	-	x	x	Presencia de cráter/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple
SMAW-ViSaP-VigaS-4F	Filete	-	-	x	-	x	x	x	Presencia de cráter/Soldadura de poco tamaño/Socavado acumulado/Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm	No cumple

Nota:

Cordón no continuo:	La forma del cordón no es homogénea a su largo, tanto en ancho, alto y presentación.
Traslape de soldadura:	Defecto de soldadura cuando el material de aporte, cubre por encima al material base.
Salpicadura:	Gotas no deseadas del material de aporte sobre el material base.

Fuente: Propia



Sur SMAW Columna
(cráter)



Sur SMAW Viga
principal (poros)



Sur SMAW Viga secundaria (socavado)

Fig. 69 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Sur

Fuente: Propia



Sur GMAW Columna
(Cráter y falta de fusión)



Sur GMAW Viga
principal (poros)



Sur GMAW Viga principal (socavado, chisporoteo
excesivo y falta de penetración)

Fig. 70 Defectos detectados por inspección visual en juntas soldadas proceso GMAW Sur

Fuente: Propia

5.1.2. LÍQUIDOS PENETRANTES

El resultado de usar líquidos penetrantes es obtener una imagen visual relativa a una discontinuidad en la superficie de la soldadura en las diferentes muestras obtenidas de las juntas soldadas, como también descubrir la naturaleza de la discontinuidad sin dañar el material y de acuerdo a un control de calidad por una norma establecida separar el material inaceptable del aceptable. Seguimos el siguiente flujo grama para el procedimiento de líquidos penetrantes Fig. 71.

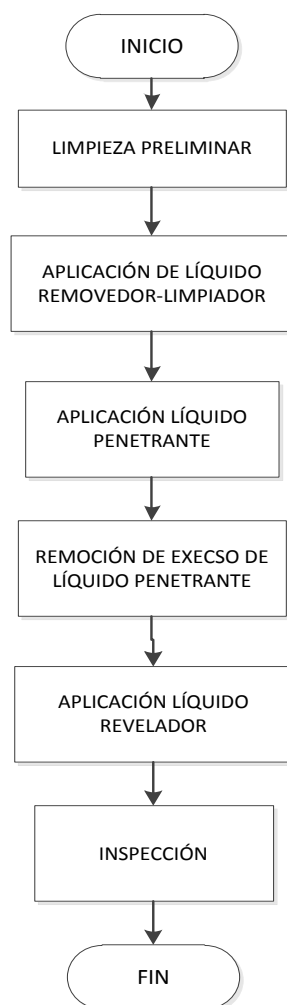


Fig. 71 Diagrama de flujo de técnica líquidos penetrantes

Fuente: Propia

Tabla 62 Descripción y procedimiento para ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas.

Inspección por líquidos penetrantes			
Sector DMQ : Norte, Centro, Sur		Número de Identificación: PT-NORTE-SMAW	
Operador: Patricio López - Felipe Narváez		Fecha: 2013-06-26	
<u>Removedor-Limpieza</u>		<u>Penetrante:</u>	
Limpieza Previa:	Cepillo de alambre y gratas de acero al carbono y tinher	Tipo:	Líquidos penetrantes Coloreados
Tipo:	Limpiador de superficies	Marca:	chem-pak (Crack Finder Part 2)
Marca:	Chem-pak (Crack Finder Part 1)	Modo de Aplicación:	Spray
Modo de aplicación:	Spray	Tiempo de penetración:	10 min
<u>Revelador:</u>		<u>Norma:</u>	
Tipo:	Revelador	ASTM E165 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry ASTM E 1417 Standard Practice for Liquid Penetrant Testing AEND Asociación Española de Ensayos No Destructivos (Líquidos Penetrantes Nivel II)	
Marca:	Chem-pak (Crack Finder Part 3)		
Modo de aplicación:	Spray		
Tiempo de Revelado:	1 min		

Fuente: Propia

Tabla 63 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector Norte DMQ

Inspección por líquidos penetrantes SMAW sector Norte DMQ						
Identificación	Tipo de junta	Criterios de inspección			Observación de inspección	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Poros		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	x	-	-	Grieta Revisar / Porosidad aceptable en diámetro y frecuencia	No Cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Poros Alineados)	No Cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	-	Sin discontinuidad relevante	Cumple
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Nido de poros)	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Tope	-	-	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Nido de Poros)	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Tope	-	-	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Poros Alineados)	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 64 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas GMAW sector Norte DMQ

Inspección por líquidos penetrantes GMAW sector Norte DMQ						
Identificación	Tipo de junta	Criterios de inspección			Observación de inspección	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Poros		
GMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	-	-	Sin discontinuidades relevantes	Cumple
GMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	-	-	Sin discontinuidades relevantes	Cumple
GMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	-	Sin discontinuidades relevantes	Cumple
GMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	-	Porosidad aceptable en diámetro y frecuencia	Cumple
GMAW-VigaS-1G-A	Tope	-	x	x	Falta de fusión/ Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm / Falta de continuidad en el cordón	No Cumple
GMAW-VigaS-1G-B	Tope	-	x	x	Falta de fusión/ Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm / Falta de continuidad en el cordón	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 65 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector Centro DMQ

Inspección por líquidos penetrantes SMAW sector Centro DMQ						
Identificación	Tipo de junta	Criterios de inspección			Observación de inspección	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Poros		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	x	-	Falta de fusión en la junta en la continuación del siguiente cordón de soldadura	No Cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	x	x	Falta de fusión en la junta / Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Nido de Poros)	No Cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	-	Sin discontinuidades relevantes para rechazo	Cumple
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	x	-	Falta de fusión en la junta en la continuación del siguiente cordón de soldadura	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	x	-	Falta de fusión en uno de los cordones intermitentes / Porosidad aceptable en diámetro y frecuencia	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	x	-	Falta de fusión al terminar cada cordón intermitente / Porosidad aceptable en diámetro y frecuencia	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 66 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas SMAW sector Sur DMQ

Inspección por Líquidos Penetrantes SMAW sector Sur DMQ						
Identificación	Tipo de junta	Criterios de inspección			Observación de inspección	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Poros		
SMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	x	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Nido de poros, Poros aleatorios) / Falta de fusión	No Cumple
SMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	x	x	Falta de fusión / Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Nido de poros, Poros aleatorios)	No Cumple
SMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm (Poros Aleatorios) / Falta de continuidad de cordón	No Cumple
SMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm (Poros Alineados)	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	x	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm (Poros alineados, Nido de Poros) / Falta de fusión	No Cumple
SMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm (Poros aleatorios, alineados)	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 67 Ensayo por líquidos penetrantes en juntas soldadas GMAW sector Sur DMQ

Inspección por Líquidos Penetrantes GMAW sector Sur DMQ						
Identificación	Tipo de junta	Criterios de inspección			Observación de inspección	Resultado Cumple/No Cumple AWS D1.1 Tabla 6.1
		Grietas	Fusión	Poros		
GMAW-Columna-1G-A	Brote-V	-	x	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Poros aleatorios) / Falta de fusión	No Cumple
GMAW-Columna-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Poros alineados) / Falta de continuidad en el cordón	No Cumple
GMAW-VigaP-1G-A	Brote-V	-	x	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm / Falta de fusión y continuidad en cordones	No Cumple
GMAW-VigaP-1G-B	Brote-V	-	-	x	Frecuencia de poros en menos de 100 mm (poros aleatorios)	No Cumple
GMAW-VigaS-1G-A	Brote-V	-	x	x	Frecuencia de porosidad en menos de 100 mm (Poros aleatorios) / Falta de continuidad y fusión en cordón	No Cumple
GMAW-VigaS-1G-B	Brote-V	-	x	-	Falta de fusión / Falta de continuidad en el siguiente cordón de soldadura	No Cumple

Fuente: Propia

5.2. ENSAYOS METALGRÁFICOS

Los ensayos metalográficos se hicieron de los diferentes tipos de juntas usados extrayendo una probeta de sección transversal para identificar el tipo de microestructura en la zona de soldadura y en las regiones adyacentes a la soldadura (zona afectada por el calor) así como en el material no afectado por la soldadura para conocer las características y las transformaciones de microestructura por los diferentes procesos de soldadura todas las micrografías están tomadas a un aumento de 200x. Las cuales revelaron las siguientes microestructuras ilustradas en las Fig. 72 a la Fig. 86.

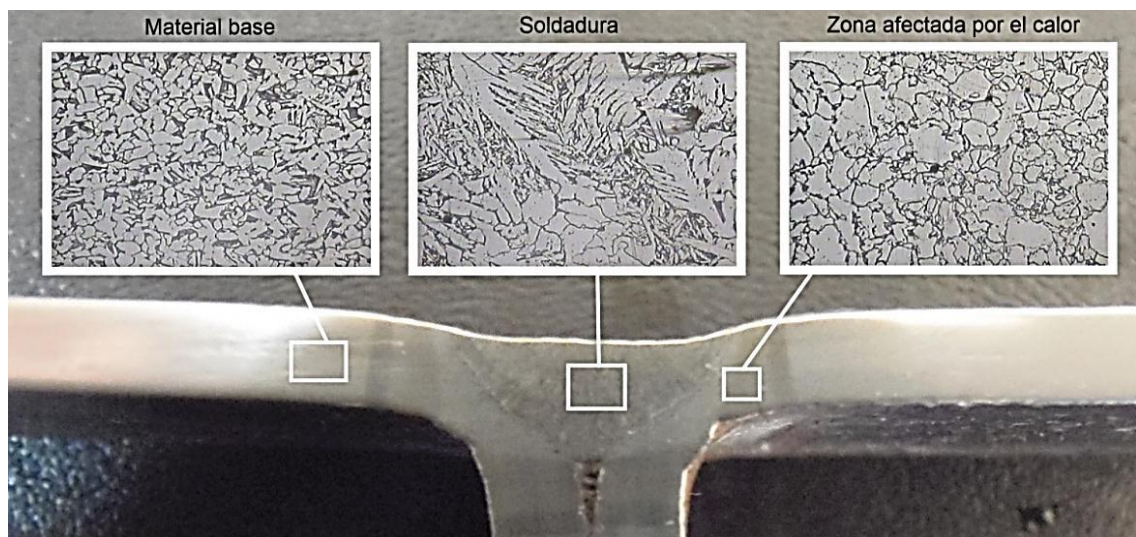


Fig. 72 Micrografía Norte SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 9 s a 200x.

Fuente: Propia

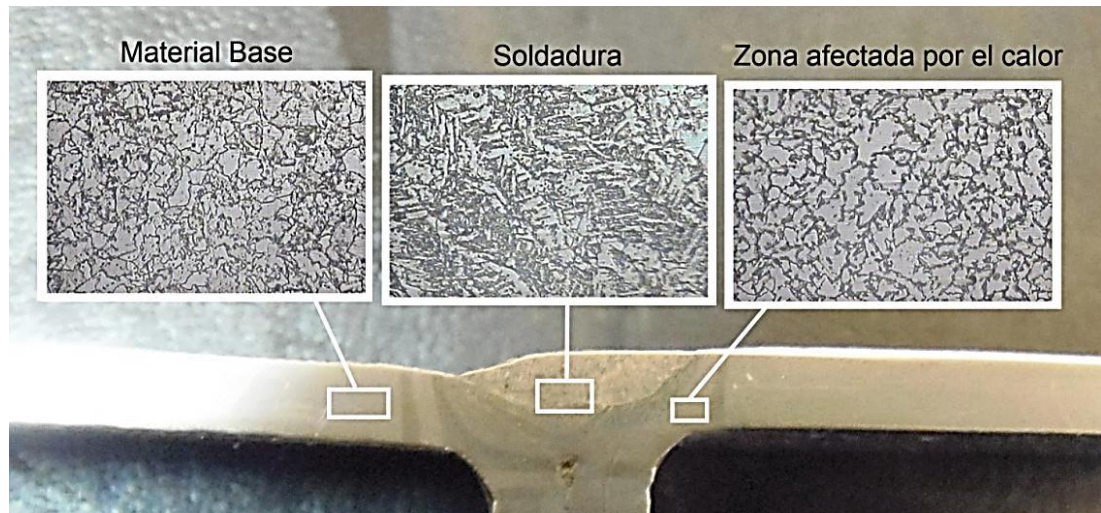


Fig. 73 Micrografía Norte SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.

Fuente: Propia

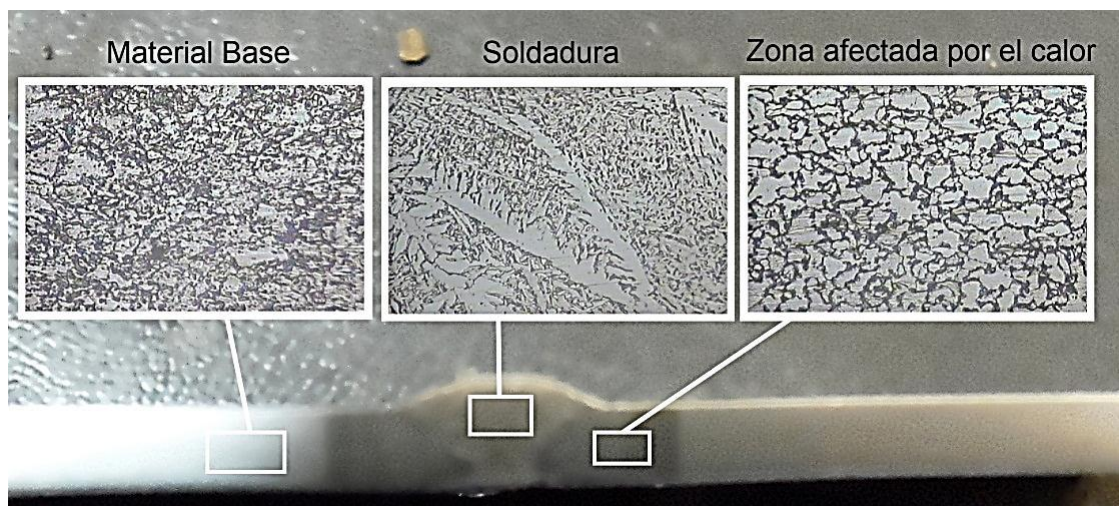


Fig. 74 Micrografía Norte SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.

Fuente: Propia

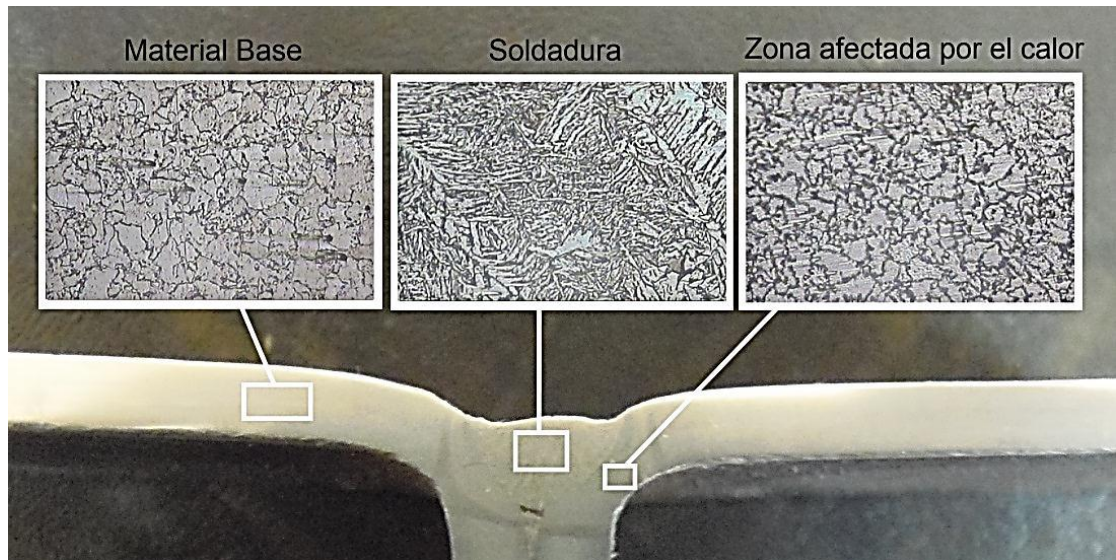


Fig. 75 Micrografía Norte GMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.

Fuente: Propia

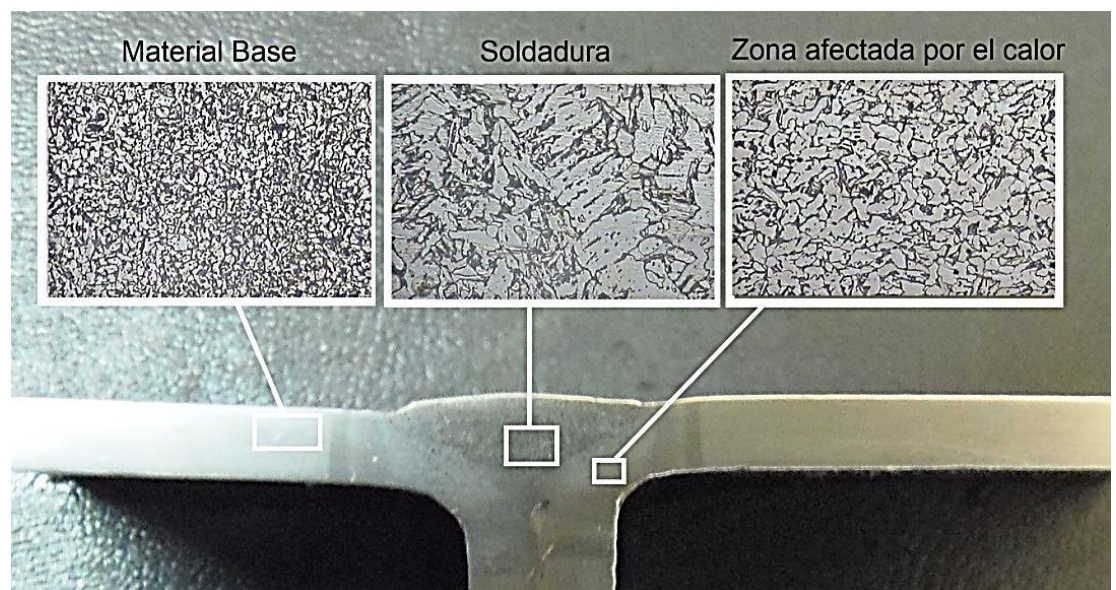


Fig. 76 Micrografía Norte GMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.

Fuente: Propia

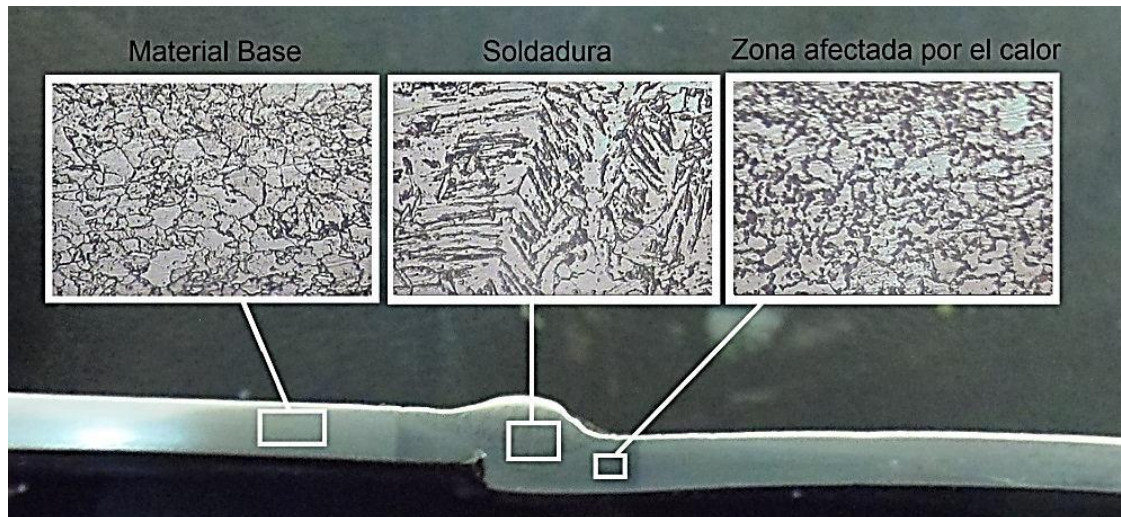


Fig. 77 Micrografía Norte GMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 5 s a 200x.

Fuente: Propia

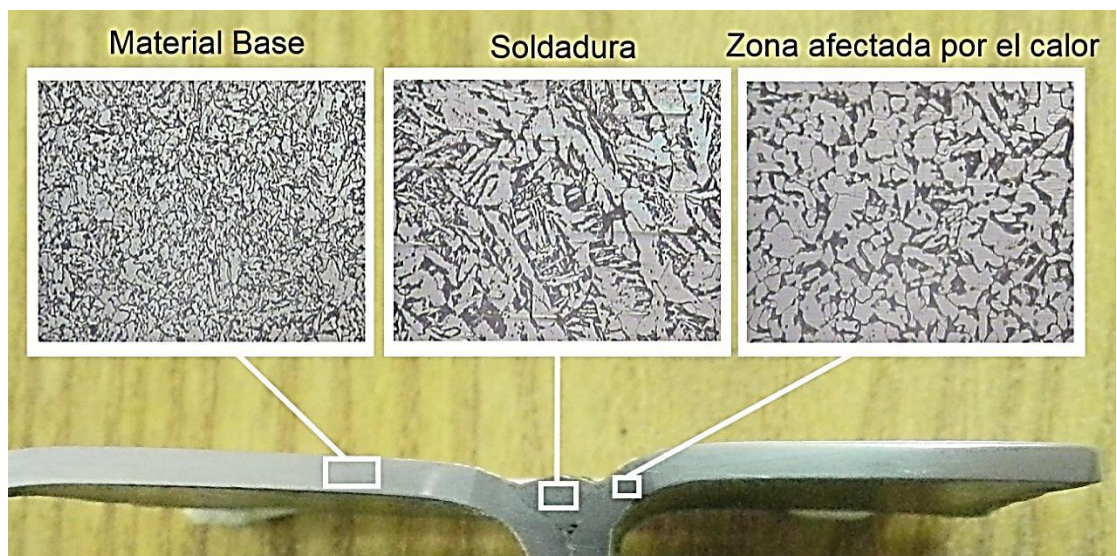


Fig. 78 Micrografía Centro SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 11 s a 200x.

Fuente: Propia

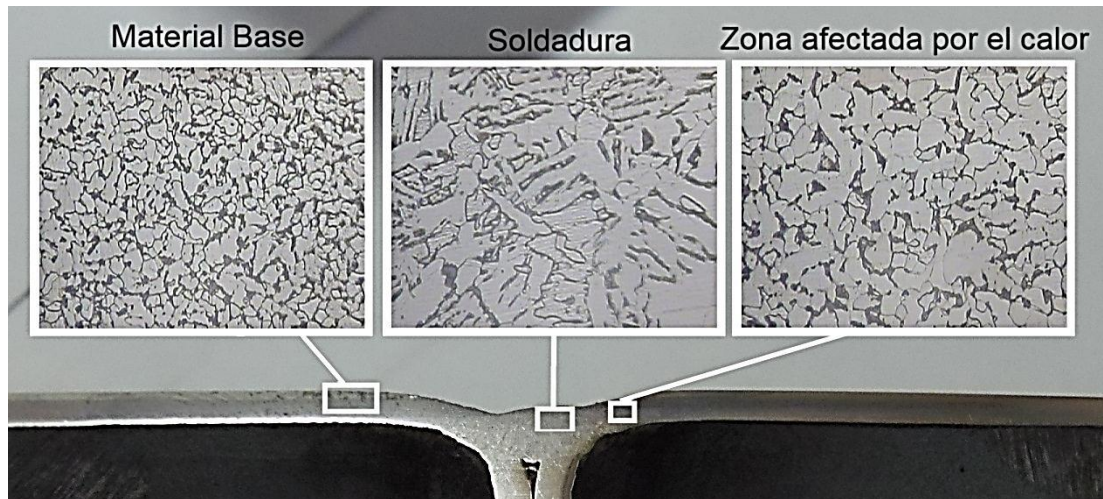


Fig. 79 Micrografía Centro SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 10 s a 200x.

Fuente: Propia

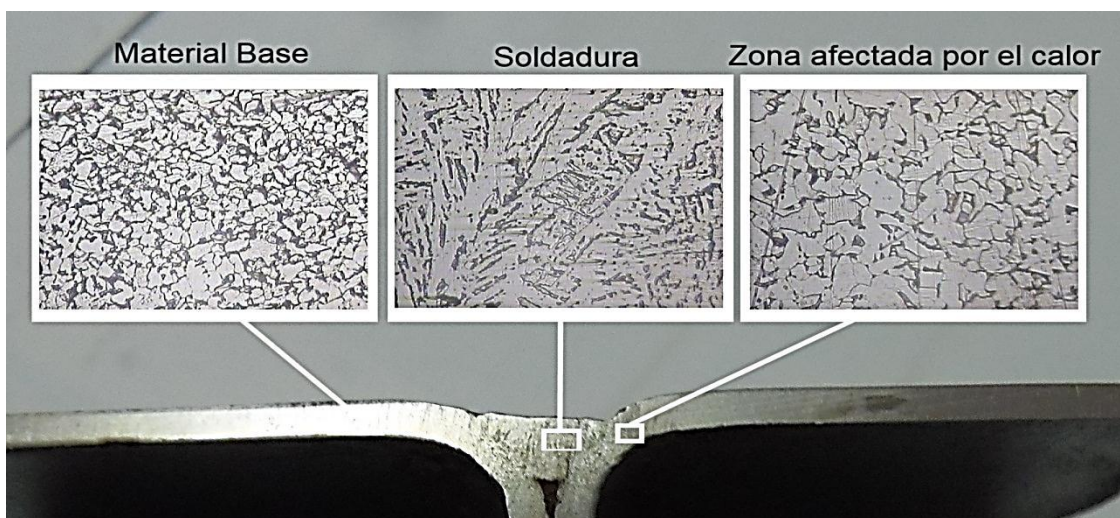


Fig. 80 Micrografía Centro SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 12 s a 200x.

Fuente: Propia

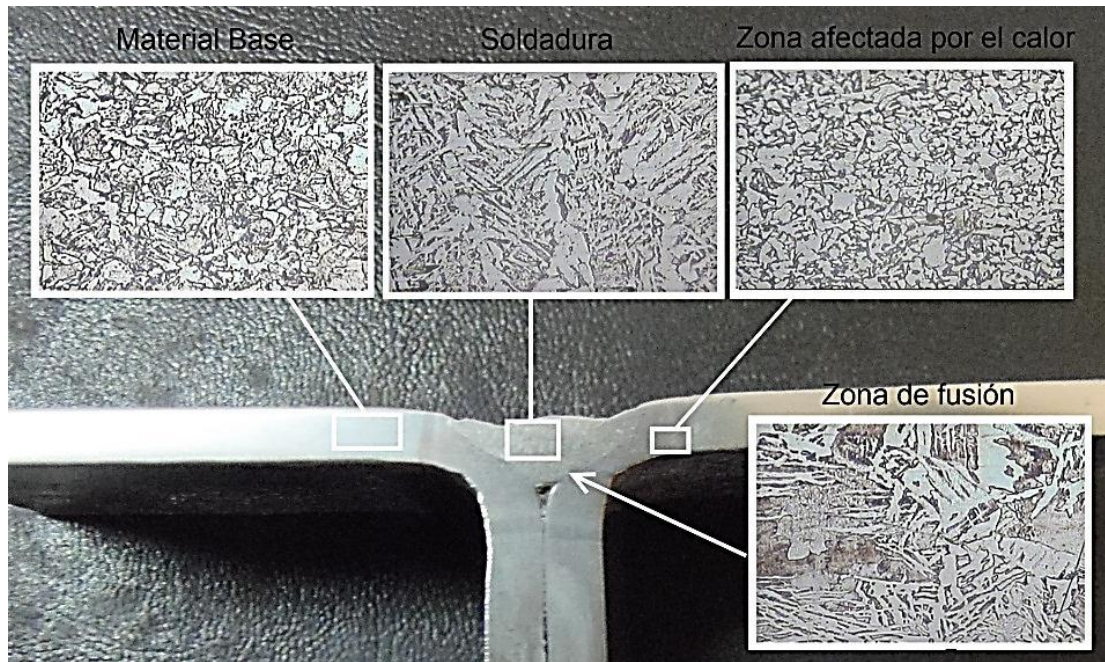


Fig. 81 Micrografía Sur SMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.

Fuente: Propia

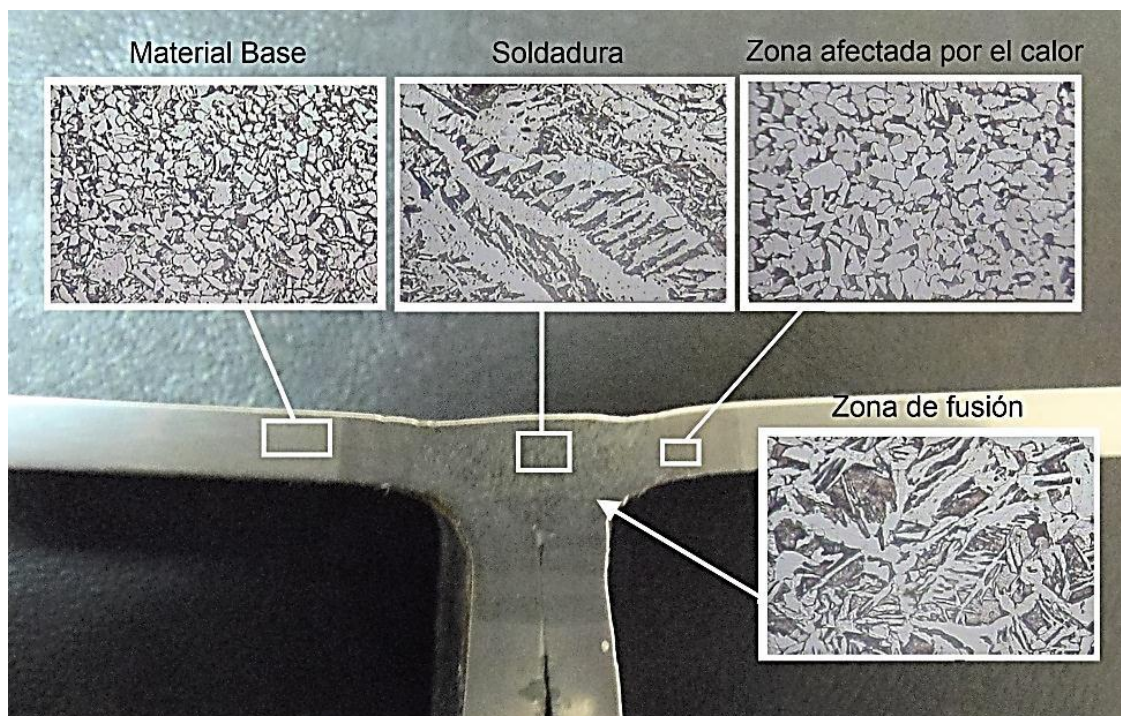


Fig. 82 Micrografía Sur SMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.

Fuente: Propia

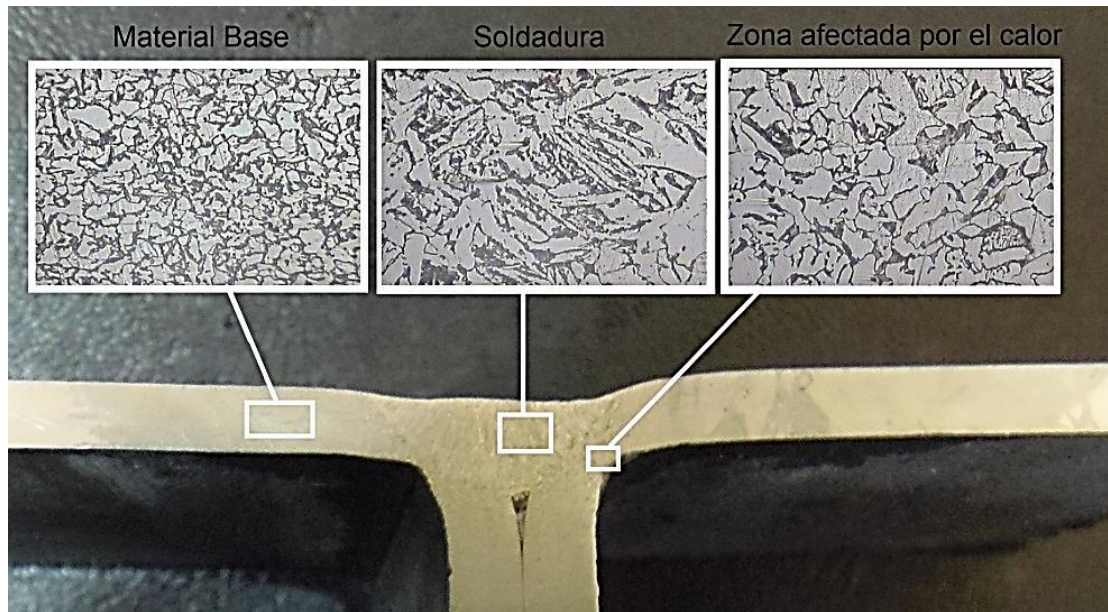


Fig. 83 Micrografía Sur SMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 7 s a 200x.

Fuente: Propia

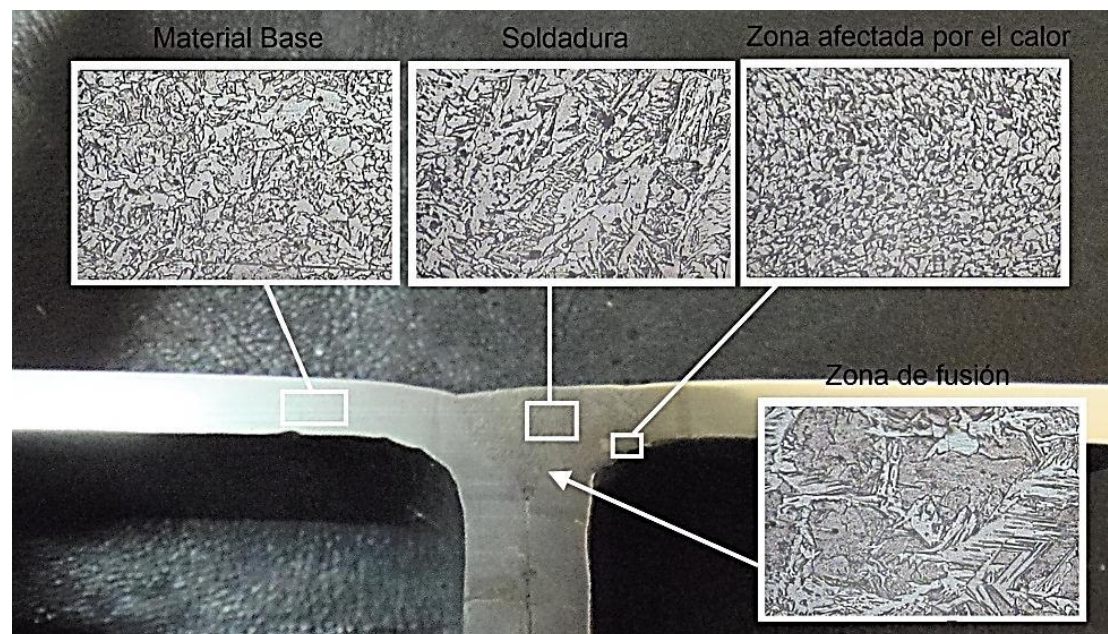


Fig. 84 Micrografía Sur GMAW Columna atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.

Fuente: Propia

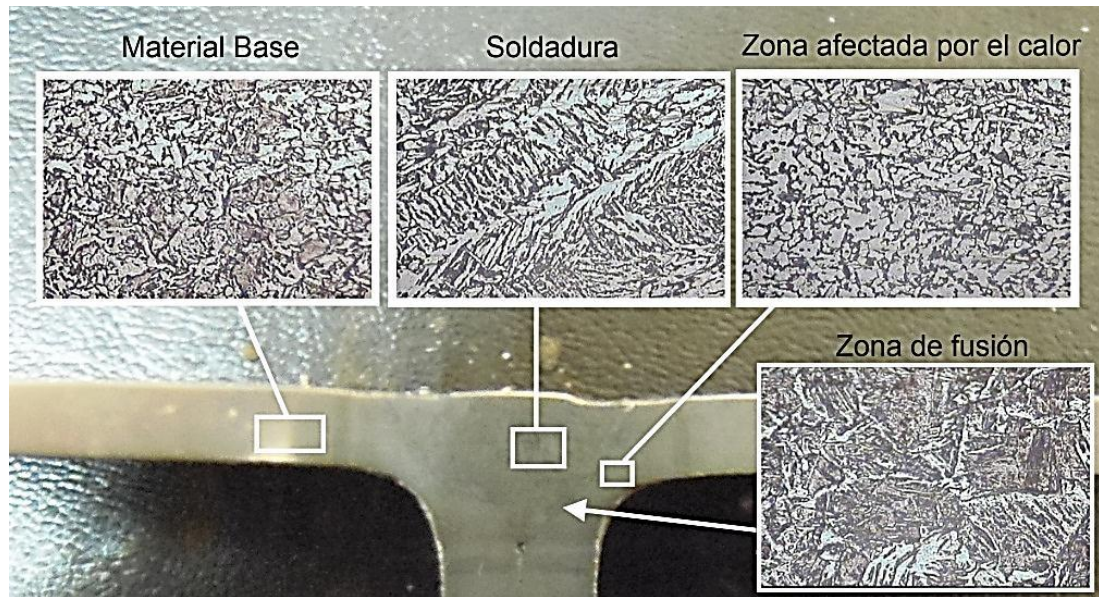


Fig. 85 Micrografía Sur GMAW Viga principal atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.

Fuente: Propia

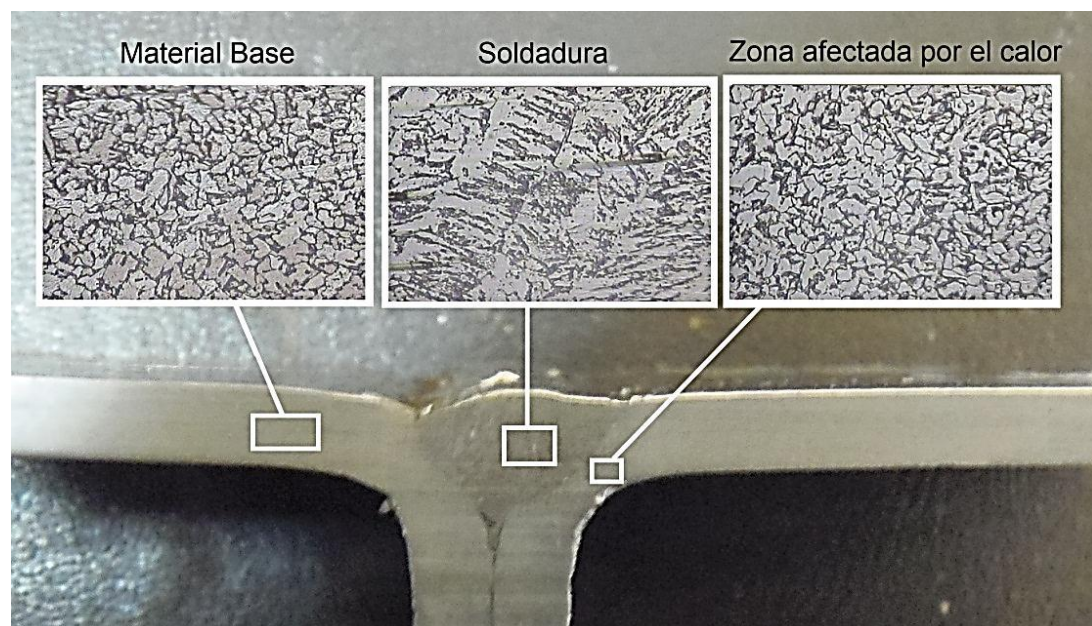


Fig. 86 Micrografía Sur GMAW Viga secundaria atacada químicamente con 3% de nital durante 3 s a 200x.

Fuente: Propia

5.3. ENSAYOS MECÁNICOS

5.3.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN

El espécimen que fue ensayado debe romperse bajo carga de tracción y debe determinarse la carga máxima, como se muestra en las tablas de la 68 a la 72 para los diferentes sectores del DMQ.

Criterios de aceptación para ensayos de tracción.

La resistencia a la tracción del espécimen ensayado no debe ser menor al rango mínimo de tracción especificado por el material base. Es decir como nuestro material es acero conformado en frío A 36, no debe ser menor a 58 ksi según la norma ASTM A 36, tabla 3 Requerimientos de tensión.

Tabla 68 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Norte DMQ

Tabla de ensayos de tracción Norte SMAW DMQ								
Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
NSCTA	Brote-V	2,30	3,80	19,80	Soldadura	45,54	56394,17	No cumple
NSCTB	Brote-V	3,00	3,80	22,90	Soldadura	68,70	70726,80	Cumple
NSVPTA	Brote-V	3,40	3,85	19,70	Soldadura	66,98	71056,04	Cumple
NSVPTB	Brote-V	3,45	3,90	21,60	Soldadura	74,52	65012,12	Cumple
NSVSTA	Tope	2,90	3,00	20,75	Soldadura	60,18	37003,97	No cumple
NSVSTB	Tope	2,80	2,80	20,95	Soldadura	58,66	68278,88	Cumple
NSCTA-E	Tope	3,25	3,75	24,65	Soldadura	80,11	47153,54	No cumple
NSCTB-E	Tope	3,75	3,80	21,85	Soldadura	81,94	37594,58	No cumple
NSVPTA-E	Tope	3,65	3,85	22,05	Soldadura	80,48	55068,93	No cumple
NSVPTB-E	Tope	3,35	3,85	22,05	Soldadura	73,87	60770,95	Cumple
NSVSTA-E	Tope	3,70	2,75	21,35	Soldadura	79,00	42237,02	No cumple
NSVSTB-E	Tope	3,75	2,85	17,55	Soldadura	65,81	31888,47	No cumple

Fuente: Propia

Tabla 69 Tabla de ensayos tracción soldadura GMAW Norte DMQ

Tabla de ensayos de tracción Norte GMAW DMQ								
Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
NGCTA	Brote-V	3,15	3,90	25,65	Soldadura	80,80	58552,27	Cumple
NGCTB	Brote-V	3,55	3,95	26,00	Soldadura	92,30	68828,74	Cumple
NGVPTA	Brote-V	3,45	3,95	25,60	Soldadura	88,32	52276,40	No cumple
NGVPTB	Brote-V	3,65	3,85	18,50	Soldadura	67,53	88814,33	Cumple
NGVSTA	Tope	2,90	3,05	20,75	Soldadura	60,18	60175,78	Cumple
NGVSTB	Tope	3,80	2,90	25,90	Soldadura	98,42	44309,53	No cumple

Fuente: Propia

Tabla 70 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Centro DMQ

Tabla de ensayos de tracción Centro SMAW DMQ								
Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
CCTA	Brote-V	2,20	2,75	25,75	Soldadura	56,65	54376,10	No cumple
CCTB	Brote-V	2,10	2,96	25,75	Soldadura	54,08	48282,48	No cumple
CVPTA	Brote-V	1,85	1,95	20,95	Soldadura	38,76	63326,19	Cumple
CVPTB	Brote-V	1,95	1,95	20,80	Soldadura	40,56	53846,87	No cumple

continua...

Tabla de ensayos de tracción Centro SMAW DMQ (continuación)

Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
CVSTA	Brote-V	1,75	1,95	42,70	Soldadura	74,73	47506,68	No cumple
CVSTB	Brote-V	1,45	2,05	42,70	Soldadura	61,92	61242,28	Cumple
CCTA-E	Tope	2,70	2,95	21,15	Soldadura	57,11	41484,91	No cumple
CCTB-E	Tope	2,75	2,95	21,55	Soldadura	59,26	51738,92	No cumple
CVPTA-E	Tope	2,00	1,95	19,90	Soldadura	39,80	58807,52	Cumple
CVPTB-E	Tope	1,90	1,95	20,15	Soldadura	38,29	60762,99	Cumple
CVSTA-E	Tope	1,95	1,90	16,85	Soldadura	32,86	61273,40	Cumple
CVSTB-E	Tope	2,05	2,00	20,00	Soldadura	41,00	48757,62	No cumple

Fuente: Propia

Tabla 71 Tabla de ensayos tracción soldadura SMAW Sur DMQ

Tabla de ensayos de tracción Sur SMAW DMQ

Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área Transversal [mm ²]	Resistencia a la Tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
SSCTA	Brote-V	3,90	3,90	18,75	Soldadura	73,13	67225,22	Cumple
SSCTB	Brote-V	3,60	3,80	19,10	Soldadura	68,76	66526,57	Cumple
SSVPTA	Brote-V	3,65	3,90	26,15	Soldadura	95,45	70136,67	Cumple
SSVPTB	Brote-V	3,50	3,80	18,60	Soldadura	65,10	71359,57	Cumple

continua...

Tabla de ensayos de tracción Sur SMAW DMQ (continuación)								
Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
SSVSTA	Brote-V	3,85	3,90	24,60	Soldadura	94,71	54007,38	No cumple
SSVSTB	Brote-V	3,75	3,90	24,55	Soldadura	92,06	52314,97	No cumple
SSCTA-E	Tope	3,50	3,85	21,50	Soldadura	75,25	44528,13	No cumple
SSCTB-E	Tope	3,45	3,80	31,45	Soldadura	108,50	52256,30	No cumple
SSVPTA-E	Tope	3,35	3,80	24,60	Soldadura	82,41	50673,19	No cumple
SSVPTB-E	Tope	3,60	3,75	24,55	Soldadura	88,38	25194,77	No cumple
SSVSTA-E	Tope	3,50	3,75	21,40	Material	80,25	62143,12	Cumple
SSVSTB-E	Tope	3,80	3,80	21,35	Material	81,13	63924,32	Cumple

Fuente: Propia

Tabla 72 Tabla de ensayos tracción soldadura GMAW Sur DMQ

Tabla de ensayos de tracción Sur GMAW DMQ								
Identificación	Tipo de junta	Espesor área soldadura [mm]	Espesor material [mm]	Ancho [mm]	Área de rotura	Área transversal [mm ²]	Resistencia a la tracción [PSI]	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.5
SGCTA	Brote-V	3,55	3,80	18,25	Soldadura	64,79	69946,87	Cumple
SGCTB	Brote-V	4,00	3,90	18,10	Soldadura	72,40	62395,78	Cumple
SGVPTA	Brote-V	3,75	4,00	21,45	Soldadura	80,44	54922,85	No cumple
SGVPTB	Brote-V	3,45	3,85	22,85	Soldadura	78,83	70389,74	Cumple
SGVSTA	Brote-V	3,85	3,90	24,50	Soldadura	94,33	71725,53	Cumple
SGVSTB	Brote-V	3,65	3,90	24,65	Soldadura	89,97	45781,37	No cumple

Fuente: Propia

5.3.2. ENSAYOS DE DOBLADO

Par los ensayos de doblado nos basamos en los criterios de aceptación y rechazo de acuerdo a la Norma AWS D1.1 Sección 4 literal 4.9.3.3 que estipula lo siguiente (ver tablas de la 73 a la 77):

Criterios de aceptación para ensayos de doblado.

La superficie convexa del espécimen de ensayo de doblado debe ser examinada visualmente para discontinuidades en la superficie. Para su aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

- 1/8 pulg. [3 mm] medida en cualquier dirección sobre la superficie
- 3/8 pulg. [10 mm] la suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan 1/32 pulg. [1 mm] pero menores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm]
- 1/4 pulg. [6 mm] la máxima fisura de esquina, excepto cuando esa fisura de esquina resulte de una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad de tipo fusión, entonces debe aplicarse un máximo de 1/8 pulg. [3 mm].

Dónde:

F: Fisuras

FE: Fisura de esquina

DL: Discontinuidad longitudinal

DT: Discontinuidad transversal

R: Rotura

Tabla 73 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Norte DMQ

Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Norte SMAW DMQ				
Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
NSCDA-1	Brote-V	FE	FE (6.47) mayor a 6 mm	No Cumple
NSCDA-2	Brote-V	DL	DLs (9.34) en suma mayores a 10 mm	No Cumple
NSCDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
NSCDB-2	Brote-V	-	DLs en suma menores a 10 mm	Cumple
NSVPDA-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
NSVPDA-2	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
NSVPDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
NSVPDB-2	Brote-V	R	Rotura al borde de la soldadura en casi toda la longitud	No Cumple
NSVSDA-1	Tope	-	P(3) menores a 2 mm/DL menor a 3 mm	Cumple
NSVSDA-2	Tope	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
NSVSDB-1	Tope	-	DLs menor a 3 mm/DE menor a 6 mm	Cumple
NSVSDB-2	Tope	-	Sin discontinuidades	Cumple
NSCDA-E	Tope	FE	FE (10.62) mayor 3 mm/DT menor a 1 mm/P(1)	No Cumple
NSCDAB-E	Tope	FE	FE (13.77) mayor a 6 mm	No Cumple
NSCDB-E	Tope	R	Rotura por falta de fusión	No Cumple
NSCDBA-E	Tope	R	Rotura	No Cumple
NSVPDA-E	Tope	DL	P(4) mayor a 3 mm/DL de 12 mm	No Cumple
NSVPDAB-E	Tope	FE	FE (12.87) mayor a 6 mm	No Cumple
NSVPDB-E	Tope	R	Rotura	No Cumple
NSVPDBA-E	Tope	F	Fisura en toda la longitud por falta de fusión	No Cumple
NSVSDA-E	Tope	F	Fisura de 27 mm	No Cumple
NSVSDAB-E	Tope	FE/Fisuras	Fisuras múltiples por falta de fusión	No cumple
NSVSDB-E	Tope	F	Fisura en toda la longitud por porosidad	No Cumple
NSVSDBA-E	Tope	R	Rotura toda la longitud	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 74 Tabla de doblado de raíz y cara GMAW Norte DMQ

Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Norte GMAW DMQ				
Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
NGCDA-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
NGCDA-2	Brote-V	DL	DLs (11.98) en suma mayores a 10 mm	No Cumple
NGCDB-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
NGCDB-2	Brote-V	DL	DLs (11.50) en suma mayores a 10 mm	No Cumple
NGVPDA-1	Brote-V	R	Rotura	No Cumple
NGVPDA-2	Brote-V	R	Rotura	No Cumple
NGVPDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
NGVPDB-2	Brote-V	R	Rotura	No Cumple
NGVSDA-1	Tope	FE / DL	FE (7.11) mayor a 6 mm/DL (4.59) mayor a 3 mm	No Cumple
NGVSDA-2	Tope	R	Rotura	No Cumple
NGVSDB-1	Tope	DL	DL (7.68) mayor a 3 mm	No Cumple
NGVSDB-2	Tope	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 75 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Centro DMQ

Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Centro SMAW DMQ				
Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
CCDA-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No cumple
CCDA-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
CCDB-1	Brote-V	FE	FE (17.13) mayor a 6 mm	No cumple
CCDB-2	Brote-V	-	DL menor a 3 mm	Cumple
CVPDA-1	Brote-V	FE	FE (7.09) mayor a 6 mm	No cumple
CVPDA-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVPDB-1	Brote-V	DL	DL (8.19) mayor a 3 mm	No Cumple
CVPDB-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVSDA-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVSDA-2	Brote-V	-	DL menor a 3 mm	Cumple
CVSDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVSDB-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple

continua...

Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Centro SMAW DMQ (continuación)

Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
CCDA-E	Tope	R	Rotura	No cumple
CCDAB-E	Tope	R	Rotura	No cumple
CCDB-E	Tope	R	Rotura	No cumple
CCDBA-E	Tope	FE	FE (12.29) mayor a 6 mm	No cumple
CVPDA-E	Tope	DL/P	DL (3.35) mayor a 3 mm/P (1.10)	No cumple
CVPDAB-E	Tope	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVPDB-E	Tope	F/DL	R (18.21) y DL (11.60) mayores a 3 mm	No cumple
CVPDBA-E	Tope	R	Rotura	No cumple
CVSDA-E	Tope	-	Sin discontinuidades	Cumple
CVSDAB-E	Tope	-	P(2) menores a 2 mm	Cumple
CVSDB-E	Tope	FE/DL	FE (9.24) mayor a 6 mm/DL (8.46) mayor a 3 mm	No cumple
CVSDBA-E	Tope	DL	DLs (12.17) en suma mayores 10 mm	No cumple

Fuente: Propia

Tabla 76 Tabla de doblado de raíz y cara SMAW Sur DMQ**Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Sur SMAW DMQ**

Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
SSCDA-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSCDA-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSCDB-1	Brote-V	F	Fisura de 30 mm al borde de soldadura	No Cumple
SSCDB-2	Brote-V	-	P(2) menores a 3 mm	Cumple
SSVPDA-1	Brote-V	-	Ninguna discontinuidad	Cumple
SSVPDA-2	Brote-V	-	P(2) menores a 2 mm/DL menor a 3 mm	Cumple
SSVPDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSVPDB-2	Brote-V	-	P(1) menor a 1 mm	Cumple
SSVSDA-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSVSDA-2	Brote-V	-	DLs menor a 3 mm	Cumple
SSVSDB-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSVSDB-2	Brote-V	DL	Fisura de 28 mm al borde de la soldadura	No Cumple
SSCDA-E	Tope	-	Sin discontinuidades	Cumple
SSCDAB-E	Tope	F	Fisura de 28 mm	No Cumple

continua...

Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Sur SMAW DMQ (continuación)

Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
SSCDB-E	Tope	R	Rotura	No Cumple
SSCDBA-E	Tope	R	Rotura	No Cumple
SSVPDA-E	Tope	DT	DT (7.56) mayor a 3 mm	No Cumple
SSVPDAB-E	Tope	D	Múltiples poros (10) mayor 4 mm/FE menor a 3 mm	No Cumple
SSVPDB-E	Tope	R	Rotura	No Cumple
SSVPDBA-E	Tope	DL	DL (10.61) mayor a 3 mm	No Cumple
SSVSDA-E	Tope	-	FE menor a 3 mm	Cumple
SSVSDAB-E	Tope	DL	DL (4.63) mayor a 3 mm	No Cumple
SSVSDB-E	Tope	DL	DL (7.10) mayor a 3 mm	No Cumple
SSVSDBA-E	Tope	R	Rotura	No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 77 Tabla de doblado de raíz y cara GMAW Sur DMQ**Tabla de doblado de raíz(2) y cara(1) Sur GMAW DMQ**

Identificación	Tipo de junta	Criterio de aceptación	Observación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.3.3
SGCDA-1	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SGCDA-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SGCDB-1	Brote-V	R	Rotura	No Cumple
SGCDB-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SGVPDA-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
SGVPDA-2	Brote-V	FE	P(5) menores a 1 mm/FE (5.16) mayor a 3 mm	No Cumple
SGVPDB-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
SGVPDB-2	Brote-V	-	P(5) menores a 1 mm/DT menor a 3 mm	Cumple
SGVSDA-1	Brote-V	F	Fisura en toda la longitud al borde de la soldadura	No Cumple
SGVSDA-2	Brote-V	-	Sin discontinuidades	Cumple
SGVSDB-1	Brote-V	R	Rotura	No Cumple
SGVSDB-2	Brote-V	-	DL menores a 1 mm	Cumple

Fuente: Propia

5.3.3. ENSAYOS DE FILETE

Para los ensayos de filete nos enfocamos en el macro-ataque para los cual los criterios de aceptación están de acuerdo con la norma AWS D1.1 Sección 4 4.9.4.1 las cuales estipulan los siguientes criterios (ver tablas de la 78 a la 80 y Fig. de la 87 a la 89):

Criterios de aceptación para ensayos de macro-ataque.

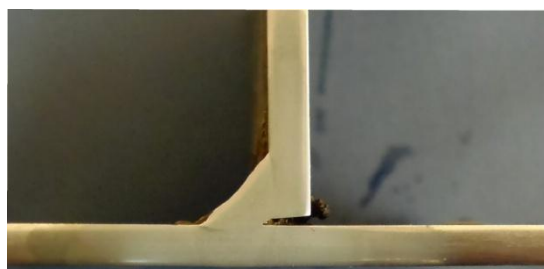
Para una calificación aceptable, la probeta de ensayo, cuando se inspecciona visualmente, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las soldaduras de filete deben tener fusión a la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá.
- El tamaño mínimo de la pierna debe cumplir con el tamaño de soldadura de filete especificado.
- Las soldaduras de filete deben tener lo siguiente:
 - (a) ninguna fisura
 - (b) fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura y entre metal de soldadura y metal base
 - (c) perfiles de soldadura en conformidad con el detalle especificado, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en el literal 5.24 de la AWS D1.1.
 - (d) ninguna socavación que exceda $1/32$ Puig. [1 mm]

Tabla 78 Tabla de ensayos de macro-ataque en juntas soldadas en filete SMAW Norte DMQ

Tabla de ensayos de macro-ataque SMAW Norte						
Criterios de aceptación macro-ataque						
Identificación	Fusión completa	Tamaño mínimo de pierna	Fisuras	Perfiles de soldadura	Socavación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.4.1
NC-VPA	-	x	-	x	-	No Cumple
NC-VPB	-	-	-	-	-	No Cumple
NC-VPC	-	x	-	x	-	No Cumple
NVP-VSA	-	x	-	x	-	No Cumple
NVP-VSB	-	x	-	-	-	No Cumple
NVP-VSC	-	x	-	x	-	No Cumple

Fuente: Propia



Norte Columna-Viga principal A (NC-VPA)



Norte Columna-Viga principal B (NC-VPB)



Norte Columna-Viga principal C (NC-VPC)



Norte Viga Principal-Viga secundaria A (NVP-VSA)



Norte Viga Principal-Viga secundaria B (NVP-VSB)

continua...



Norte Viga Principal-Viga secundaria C (NVP-VSC)

Fig. 87 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga principal-Viga secundaria SMAW Norte DMQ

Fuente: Propia

Tabla 79 Tabla de ensayos de macro-ataque en juntas soldadas en filete SMAW Centro DMQ

Tabla de ensayos de macro-ataque SMAW Centro						
Criterios de aceptación macro-ataque						
Identificación	Fusión completa	Tamaño mínimo de pierna	Fisuras	Perfiles de soldadura	Socavación	Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.4.1
CC-VPA	-	X	-	X	X	No Cumple
CC-VPB	-	X	-	X	-	No Cumple
CC-VPC	X	X	-	X	-	Cumple
CVP-VSA	X	X	-	X	-	Cumple
CVP-VSB	X	X	-	X	-	Cumple
CVP-VSC	-	X	-	-	-	No Cumple

Fuente: Propia



Centro Columna-Viga principal A (CC-VPA)



Centro Columna-Viga principal B (CC-VPB)

continua...



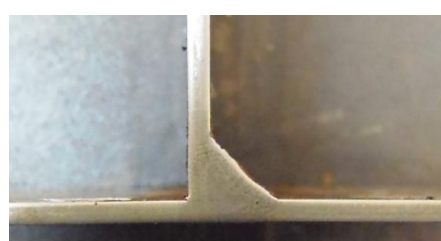
Centro Columna-Viga principal C
(CC-VPC)



Centro Viga Principal-Viga
secundaria C (CVP-VSC)



Centro Viga Principal-Viga
secundaria A (CVP-VSA)



Centro Viga Principal-Viga
secundaria B (CVP-VSB)

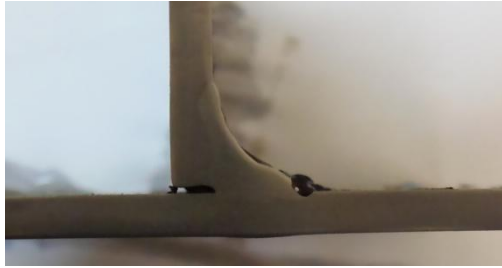
Fig. 88 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga Principal-Viga secundaria SMAW Centro DMQ

Fuente: Propia

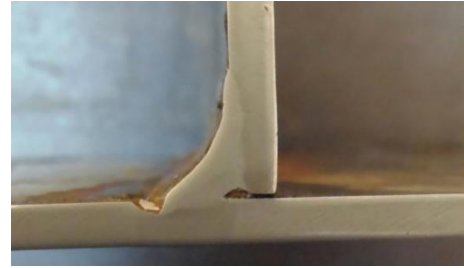
Tabla 80 Tabla de ensayos de Macro-Ataque en juntas soldadas en filete SMAW Sur DMQ

Tabla de ensayos de macro-ataque SMAW Sur						
Identificación	Fusión completa	Tamaño mínimo de pierna	Criterios de aceptación macro-ataque			Cumple/No Cumple AWS D1.1 4.9.4.1
			Fisuras	Perfiles de soldadura	Socavación	
SC-VPA	-	X	-	-	-	No Cumple
SC-VPB	-	X	-	X	X	No Cumple
SC-VPC	X	X	-	X	-	Cumple
SVP-VSA	-	X	-	-	X	No Cumple
SVP-VSB	-	X	-	X	-	No Cumple
SVP-VSC	-	X	-	-	-	No Cumple

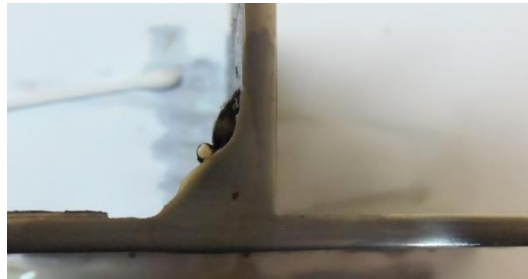
Fuente: Propia



Sur Columna-Viga principal A
(SC-VPA)



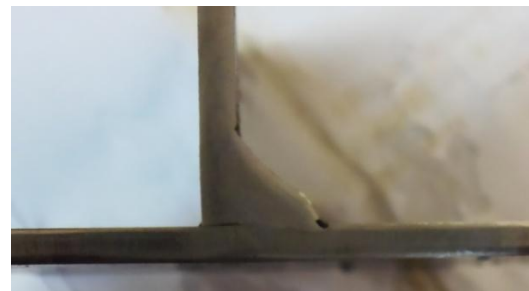
Sur Columna-Viga principal B
(SC-VPB)



Sur Columna-Viga principal C
(SC-VPC)



Sur Viga Principal-Viga
secundaria A (SVP-VSA)



Sur Viga Principal-Viga
secundaria B (SVP-VSB)



Sur Viga Principal-Viga
secundaria C (SVP-VSC)

Fig. 89 Macro-ataque de juntas soldadas en filetes en Columna-Viga principal y Viga principal-Viga secundaria SMAW Sur DMQ

Fuente: Propia

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. TABLA DE RESULTADOS

Tabla 81 Tabla de resultados soldadura SMAW sector Norte DMQ.

Ensayos	Sector Norte SMAW		Observación
	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	
Inspección Visual	3	23	Defectos que se pueden corregir y otros afectan de manera funcional a la estructura de la cual no se recomienda corregir. Ver Tabla 57.
Ensayo Líquidos Penetrantes	1	5	Los defectos más notables fueron los poros en exceso. Ver Tabla 63.
Ensayos de tensión	9	3	La mayoría de las probetas la rotura se localizó en la soldadura. Ver Tabla 68.
Ensayo doblado de cara y raíz	7	17	Las probetas que no cumplieron, presentaron fisuras (tanto en las esquinas como en medio de la probeta) y se llegaron a romper algunas a causa de los defectos. Ver Tabla 73.
Macro-ataque en filete	0	6	El principal problema es la falta de fusión en todas las probetas. Ver Tabla 78.

Fuente: Propia

Tabla 82 Tabla de resultados soldadura GMAW sector Norte DMQ.

Ensayos	Sector Norte GMAW		Observación
	Probetas Cumplen	Probetas No cumplen	
Inspección Visual	2	4	Defectos que se pueden corregir y otros afectan de manera funcional a la estructura de la cual no se recomienda corregir. Ver Tabla 58.

continua...

Sector Norte GMAW (Continuación)			
Ensayos	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	Observación
Ensayo Líquidos Penetrantes	4	2	Las secciones inspeccionadas que no cumplen, deben a falta de fusión y porosidad. Ver Tabla 64.
Ensayos de tensión	4	2	La mayoría de las probetas se rompieron en el área de la soldadura. Ver Tabla 69.
Ensayo doblado de cara y raíz	1	11	Las probetas que no cumplieron, presentaron fisuras (tanto en las esquinas como en medio de la probeta) y se llegaron a romper algunas por completo. Ver Tabla 74.

Fuente: Propia

Tabla 83 Tabla de resultados soldadura SMAW sector centro DMQ.

Sector Centro SMAW			
Ensayos	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	Observación
Inspección Visual	3	23	Defectos que pueden ser corregidos y otros no, ya afectan de manera funcional a la estructura de la cual no se recomienda corregir. Ver Tabla 59.
Ensayo Líquidos Penetrantes	1	5	Las secciones inspeccionadas que no cumplen, deben a la falta de fusión entre la soldadura y material base, lo cual se dio debido al cambio de electrodo. Ver Tabla 65.
Ensayos de tensión	5	7	La mayoría de las probetas la rotura se localizó en área de la soldadura, donde la falta de soldadura era notable. Ver Tabla 70.

continua...

Sector Centro SMAW (Continuación)			
Ensayos	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	Observación
Ensayo doblado de cara y raíz	11	13	Las probetas que no cumplieron, presentaron fisuras (tanto en las esquinas como en medio de la probeta) y llegando a romperse algunas por completo. Ver Tabla 75.
Macro-ataque en filete	3	3	El problema principal es la falta de fusión completa en aquellas probetas que no cumplen. Ver Tabla 79.

Fuente: Propia

Tabla 84 Tabla de resultados soldadura SMAW sector sur DMQ.

Sector Sur SMAW			
Ensayos	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	Observación
Inspección Visual	0	26	Defectos que se pueden corregir y otros afectan de manera funcional a la estructura de la cual no se recomienda corregir. Ver Tabla 60.
Ensayo Líquidos Penetrantes	0	6	Las secciones inspeccionadas se deben a porosidad excesiva. Ver Tabla 66.
Ensayos de tensión	6	6	La mayoría de las probetas la rotura se localizó en la soldadura. Ver Tabla 71.
Ensayo doblado de cara y raíz	12	12	Las probetas que no cumplieron, presentaron discontinuidades lineales y laterales. También se llegaron a romper algunas por completo. Ver Tabla 76.
Macro-ataque en filete	1	5	El problema principal es la falta de fusión completa en aquellas probetas que no cumplen. Ver Tabla 80.

Fuente: Propia

Tabla 85 Tabla de resultados soldadura GMAW sector sur DMQ.

Ensayos	Sector Sur GMAW		Observación
	Ensayos Aceptados	Ensayos Rechazados	
Inspección Visual	0	14	Defectos que se pueden corregir y otros afectan de manera funcional a la estructura los cuales no se recomienda corregir. La mayoría de las secciones inspeccionadas poseen excesivo socavado. Ver Tabla 61.
Ensayo Líquidos Penetrantes	0	6	Las secciones inspeccionadas que no cumplen se deben a porosidad excesiva. Ver Tabla 67.
Ensayos de tensión	4	2	La mayoría de las probetas la rotura se localizó en la soldadura. Ver Tabla 72.
Ensayo doblado de cara y raíz	6	6	Las probetas que no cumplieron, en su gran mayoría fueron doblado de cara. También se llegaron a romper algunas por completo. Ver Tabla 77.

Fuente: Propia

6.2. COMPARACIÓN CON NORMAS

AWS D1.1

Código de Soldadura Estructural - Acero

Específicamente el código desarrolla estructuras de aceros soldadas con aceros al carbono o de baja aleación con un espesor de 3 mm o mayor, con una resistencia a la fluencia de mínimo 100 Ksi ó menor (literal 1.2). Para soldadura SMAW se puede soldar con cualquier tipo de electrodo dependiendo su aplicación en conformidad con los requerimientos de la edición más reciente de la AWS A5.1 (literal 5.3.2)

AWS D1.3

Código de Soldadura Estructural - Lámina de Acero

Lámina de acero con espesor menor o igual a 4.8 mm (literal 1.1), con una resistencia a la fluencia de mínimo 80 Ksi o menor (literal 1.2.3). El cual nos indica el uso de electrodos de bajo hidrógeno para un miembro estructural primario de espesor mayor a 6.4 mm (literal 1.4.4.2) . En su lista de materiales aplicables no se encuentra el material A36.

AWS D1.8

Código de Soldadura Estructural - Suplemento Sísmico

Estructura de acero con una resistencia a la fluencia de mínimo 70 Ksi o menor (literal 1.3). Para la soldadura SMAW los electrodos a usarse deben ser de bajo contenido de hidrógeno (literal 1.2.2.4). Electrodos solidos para GMAW deberán ser excentos de estos requerimientos H16 (literal 6.3.2)

AISI S100

Especificación Norte Americana para el Diseño de Miembros Estructurales en Acero Conformado en Frío

Aplica al diseño estructural de miembros conformados en frío de carbon y baja aleación de acero no mayor a 25,4 mm de espesor y usados en fines de soportar cargas (literal A1.1). La relación entre resistencia a la tracción y esfuerzo de fluencia no debe ser menor a 1.08 y el total de elongación a través de la fractura no deberá ser menor que 20% en 12.7 mm (literal A2.3.1).

6.3. IMPACTO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL DMQ

Inicialmente, se define el término *impacto* que es el “Efecto intenso en alguien o algo de un suceso o acción”¹. Principalmente, el impacto de la soldadura, está relacionado con el ingeniero a cargo de la obra y este abarca una serie de procesos efectuados en la misma, tanto en estructuras cien por ciento metálicas como mixtas.

¹ Diccionario Enciclopédico Océano, Ediciones Océano, S.A., Vol. 2 Edición 1983, Palabra Impacto.

El impacto principal sobre las construcciones en el DMQ se produce cuando estas se ven afectadas por un sismo. Desde el material hasta el proceso de soldadura son fundamentales a la hora de realizar una construcción, siendo necesario, para el análisis, tener en cuenta varios parámetros y en el orden siguiente:

- Factor de zona sísmica a la que se puede ver afectada la estructura.
- Cálculo de la estructura y selección de materiales.
- Mano de obra calificada de acuerdo al proceso de soldadura que se llevará a cabo.
- Inspección constante, tanto de la obra como de la mano de obra calificada.

El problema se enfoca en la falta de conocimientos por parte de los constructores, que cabe recalcar, son personas con amplia experiencia en estructuras metálicas, pero sin conocimientos de procedimientos y reglamentación de soldadura, y sobre todo sin nociones del riesgo sísmico. Un buen ejemplo es la Fig. 90 que se presenta a continuación.



Fig. 90 Fotografía estructura soldada sector La Marín-Centro del DMQ

Fuente: Propia

El gobierno y las instituciones encargadas de supervisar las construcciones en el DMQ, deberían aplicar un control más exigente en cuanto a viviendas con estructuras de acero conformado en frío. Siendo un impedimento el no conocimiento de diseño

de las mismas, o el desconocimiento de los procesos o procedimientos de soldadura por parte de las normas ecuatorianas de la construcción (NEC), expresando que cuando se usen aceros conformados en frío deberán diseñarse de acuerdo a una norma internacional AISI (Norma NEC Cap. 10 literal 10.4.3), poniendo como principal dificultad el idioma y los diversos parámetros que una norma internacional aplica para los diversos desastres naturales. Sabiendo que las mayorías de las viviendas en el DMQ son de hormigón armado y de acero estructural conformado en frío, el Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción formuló la siguiente indicación:

“Luego de las revisiones realizadas a los capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que fueron elaborados mediante convenio entre el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda y la Cámara de la Construcción de Quito, el Comité Ejecutivo de la NEC, en sesión realizada el día miércoles 17 de julio del 2013, aprobó que se ponga en vigencia de aplicación nacional”²

En cuanto a las empresas dedicadas a las construcciones en estructuras de acero, estas son renuentes a gastos por inspección, no solo de obra, sino también de soldadura. El problema no es visible, y los inconvenientes solo serán evidentes en caso de terremoto, ya que somos un distrito con un alto grado sísmico. Según la norma NEC Cap. 2 el DMQ tiene un factor Z (factor de aceleración máxima de roca esperado para el sismo de diseño) de 0.40 (ver tabla 86 y Fig. 91), siendo la costa la zona más peligrosa en cuanto a la República de Ecuador.

² Comité Ejecutivo aprobó capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC.

<http://www.normaconstruccion.ec/>

Tabla 86 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: Norma NEC Cap. 2. Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente, Tabla 2.1

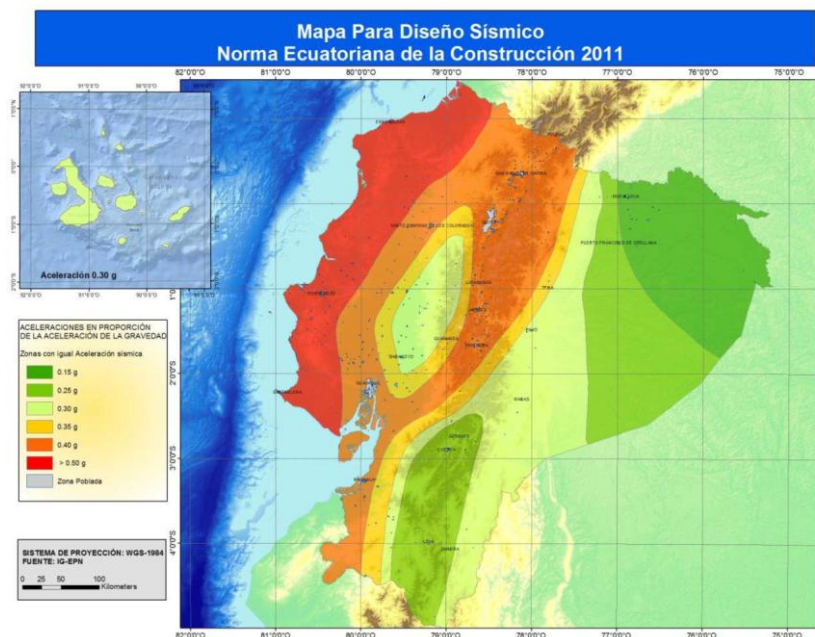


Fig. 91 Mapa para diseño sísmico Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011

Fuente: Norma NEC Cap. 2. Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente, Figura 2.1

6.4. ANÁLISIS

Primero analizaremos por separado cada proceso de soldadura (SMAW y GMAW) y cada sector del DMQ, teniendo en cuenta que se trata del mismo soldador en cada sector por separado y las mismas condiciones de trabajo. Lo que diferencia de cada sector es el espesor de los perfiles conformados en frío en acero ASTM A36 y su geometría que se indicó detalladamente en el capítulo 4. Finalmente, se analizó y comparó los dos procesos en forma simultánea.

6.4.1. ANÁLISIS INSPECCIÓN VISUAL

Los defectos de soldadura, de los cuales porosidades y grietas se deben a muchas razones y la principal es la presencia de humedad (tanto en el ambiente como en el electrodo) y presencia de elementos contaminantes (grasas, pintura, polvo, gases que forman parte del aire), mientras que las demás discontinuidades se deben al soldador, la falta de fusión, puede ser también provocado por el proceso en sí o por los parámetros que se usó al momento de soldar, los cráteres se deben al cambio de electrodo, el socavado al uso de un alto amperaje y la falta de perfiles de soldadura y poco tamaño de soldadura dependen de la habilidad del soldador, donde la mayor parte de discontinuidades también dependen de la técnica y velocidad de aportación de soldadura.

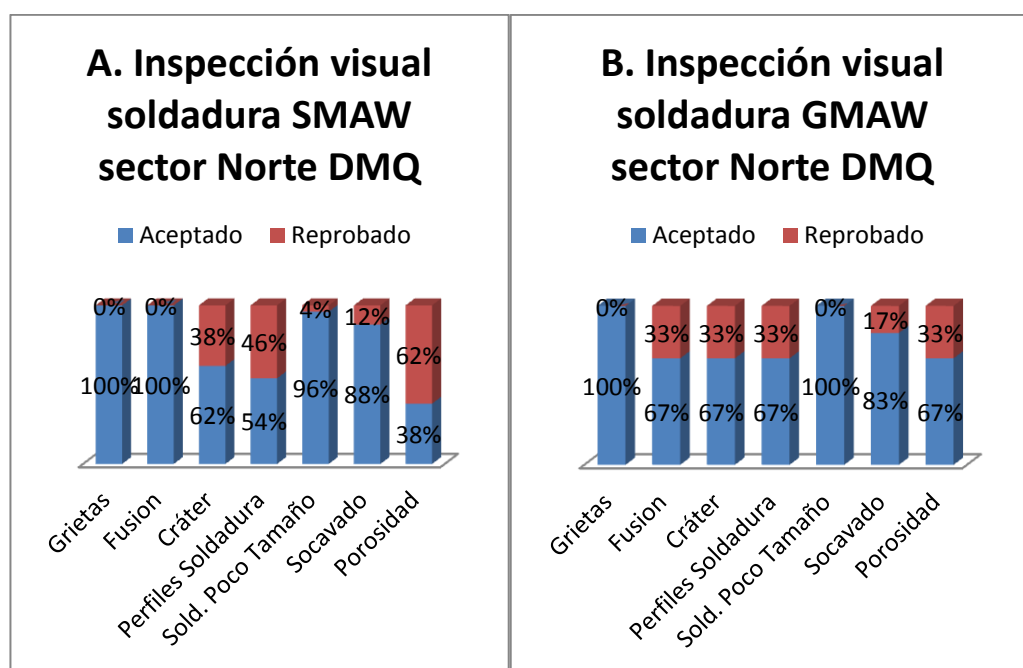


Fig. 92 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Norte DMQ

Fuente: Propia

En la figura 92 (A) se puede observar que sus fallas son: porosidades, cráteres, falta de perfiles de soldadura, un bajo porcentaje de soldadura de poco tamaño y socavado.

En la figura 92 (B) las fallas son: falta de fusión, presencia de cráteres, falta de perfiles de soldadura, socavados y porosidades

Comparando los dos procesos, podemos observar que el proceso SMAW con electrodo E7018, siendo un electrodo de bajo hidrogeno que favorece a una soldadura homogénea sin porosidades, la cual no solo depende del electrodo también depende del medioambiente, por lo que se encontraron bastantes porosidades pero tiene una buena penetración en espesores delgados y buena fusión por lo que un 100% es aceptado en penetración y grietas. Por otro lado, el proceso GMAW se encuentra con un bajo porcentaje de porosidad, ya que el proceso usa gas de protección para una mejor soldadura sin discontinuidades y buen acabado, pero la falta de fusión con 33% es un serio problema en las construcciones.

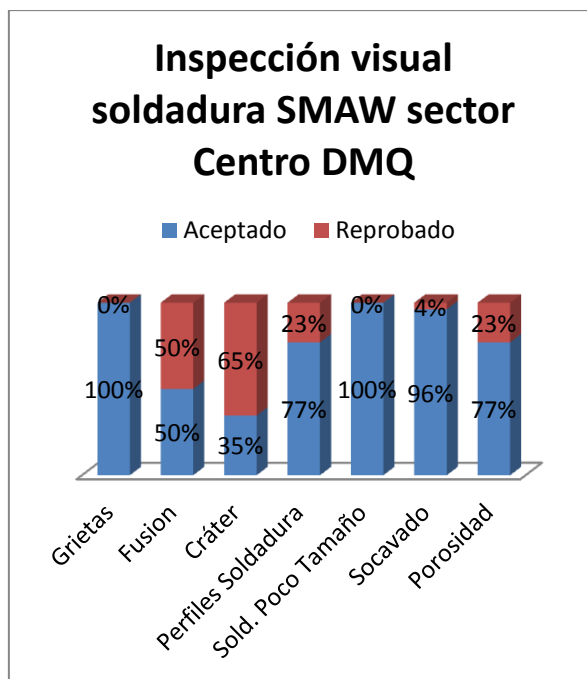


Fig. 93 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Centro DMQ

Fuente: Propia

En la figura 93 se puede observar que sus fallas son: falta de fusión, cráteres, perfiles de soldadura, un bajo porcentaje de socavado al igual que de porosidades.

El proceso que se usó fue SMAW con electrodo E6011, donde la falta de fusión y grietas tienen un alto porcentaje de fallas y puede ser ya que el electrodo usado es de bajo amperaje, por lo que los socavados se encuentran en un bajo porcentaje y en la mayoría de secciones aceptado. Los perfiles usados son perfiles delgados, que no deben ser sometidos a demasiado calor ya que estos mismos se pueden deformar.

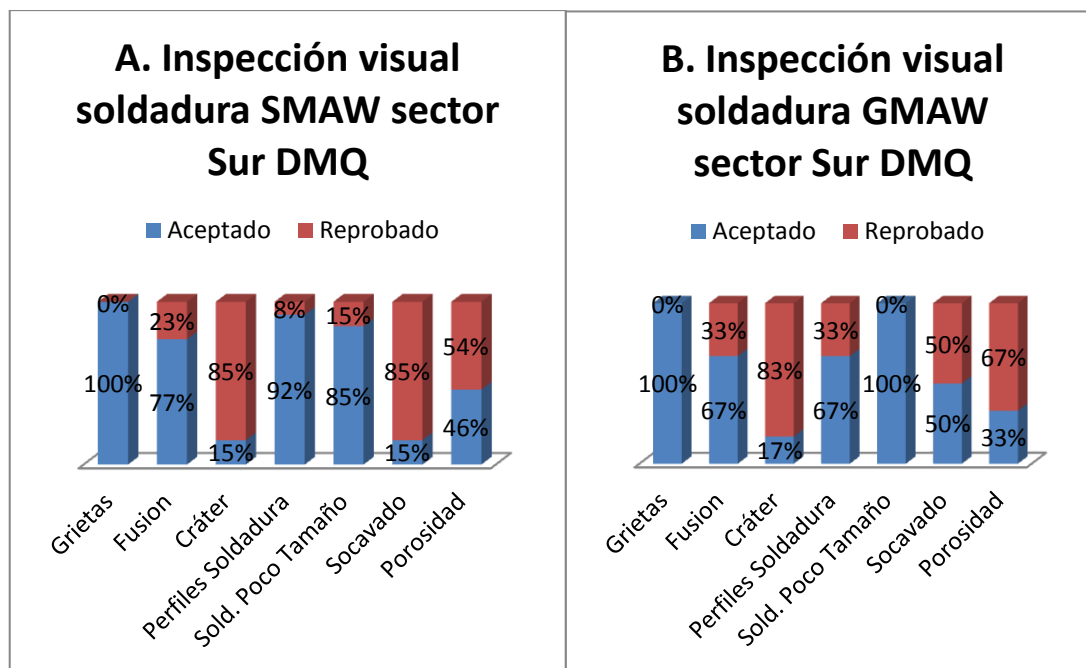


Fig. 94 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección visual sector Sur DMQ

Fuente: Propia

En la figura 94 (A) las fallas son: un bajo porcentaje de falta de fusión, perfiles de soldadura, soldadura de poco tamaño, y un alto porcentaje de cráteres, socavados y porosidades.

En la figura 94 (B) las fallas son: falta de fusión un porcentaje considerable, perfiles de soldadura, un alto porcentaje de cráteres, socavados y porosidades.

En ambos procesos se puede observar un gran porcentaje de socavado, siendo en el proceso SMAW un porcentaje mayor al proceso GMAW y puede ser ya que el electrodo E7018, es un electrodo de penetración y alto amperaje. Se observa un gran porcentaje de cráteres, lo cual es inusual en el proceso GMAW ya que es un proceso continuo y de serie, en cuanto al proceso SMAW puede ser al momento de cambiar el electrodo. En cuanto a la porosidad, los dos procesos tienen un alto porcentaje de falla, y el principal problema en el proceso GMAW son las fuertes corrientes de

viento o el bajo caudal del gas de protección, mientras en el proceso SMAW como ya se dijo anteriormente se debe a la humedad y elementos contaminantes (grasas, pintura, polvo, gases que forman parte del aire).

6.4.2. ANÁLISIS LÍQUIDOS PENETRANTES

Cabe destacar que no se aplicaron líquidos penetrantes en las juntas soldadas columna-viga principal y viga principal – viga secundaria, ya que es un proceso donde la soldadura debe estar en una posición plana. Se recalca que estas juntas soldadas fueron inspeccionadas visualmente al 100% para su aceptación o rechazo.

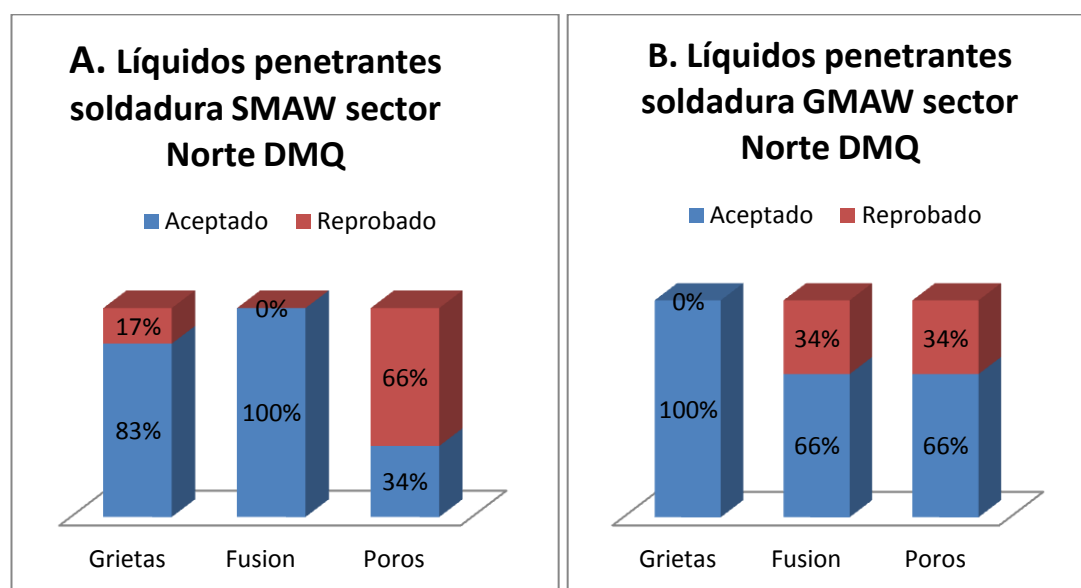


Fig. 95 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección Líquidos penetrantes sector Norte DMQ

Fuente: Propia

Comparando el proceso SMAW de la Fig. 95 (A) en los ensayos de líquidos penetrantes con la Fig. 94 inspección visual, pudimos identificar varios defectos difíciles de observar en una inspección visual. En los cuales según en la tabla 81, se detectó una grieta de las 6 secciones inspeccionadas, suficiente para rechazar la

soldadura. En cuanto a las porosidades, los líquidos penetrantes revelaron con eficacia los poros que se encontraron en la soldadura.

En cuanto al proceso GMAW de la Fig. 95 (B), se aprecian porcentajes de fallas por discontinuidades bastantes similares, debido a una buena inspección visual.

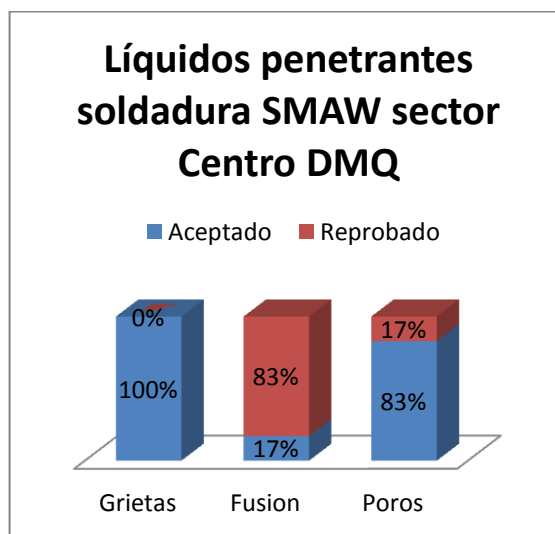


Fig. 96 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección líquidos penetrantes sector Centro DMQ

Fuente: Propia

En cuanto a líquidos penetrantes en la estructura prototipo del sur, y según la Fig. 96 volvemos a tener 0% de grietas, al igual que la Fig. 93. Aunque la falta de fusión es más notable en líquidos penetrantes, teniendo en cuenta que no se realizó los ensayos en las juntas soldadas columna-viga principal y viga principal – viga secundaria, y un porcentaje parecido entre inspección visual y de líquidos penetrantes en cuanto a porosidades.

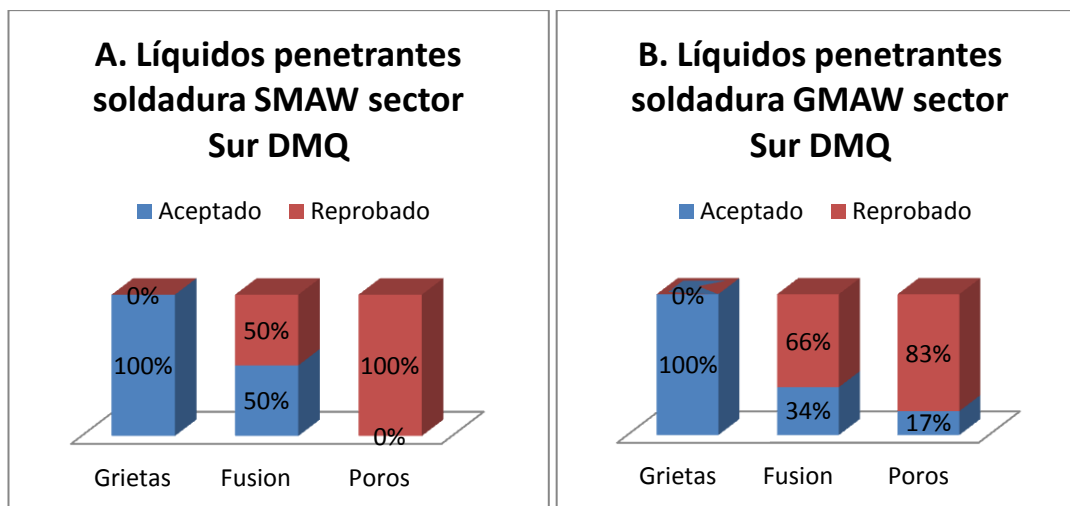


Fig. 97 Análisis porcentual de las discontinuidades en la inspección líquidos penetrantes sector Sur DMQ

Fuente: Propia

En cuanto a la réplica del sector Sur, volvemos a coincidir en grietas con 100% de satisfacción, tanto en el proceso SMAW como en el proceso GMAW, comparando la Fig. 97 (Líquidos penetrantes) con la Fig. 94 (Inspección visual). La falta de fusión fue más notable con el ensayo de líquidos penetrantes y uno de los mayores problemas es el exceso de porosidad en la soldadura, que en el proceso SMAW aplicado a 6 secciones inspeccionadas, las seis fueron rechazadas.

6.4.3. ANÁLISIS ENSAYOS METALOGRAFÍCOS

Para el análisis metalográfico, se extrajo probetas de cada una de las juntas soldadas usadas en las construcciones metálicas de los sectores Norte, Sur y Centro tanto en procesos SMAW y GMAW de tal modo que realizando las micrografías se pudieron analizar los siguientes puntos:

Las características del ciclo térmico de soldadura y los fenómenos que ocurren durante ésta influyen grandemente en la micro-estructura, propiedades. En las

secciones siguientes se analiza cómo influyen estos factores en la calidad de las juntas.

Zona Afectada por el calor.

La zona afectada por el calor (ZAC) se ve afectada por ciclos térmicos de calor que involucran altas temperaturas, debido a esto la estructura original del material y sus propiedades son modificadas considerando las transformaciones de fases, como también el crecimiento de grano en esta región cercana a la soldadura.

En las aleaciones endurecidas por deformación plástica en frío como es el caso de los perfiles conformados en frío que estamos estudiando la zona afectada térmicamente sufre una re-cristalización por el hecho de que la temperatura alcanzada en momento de la soldadura sobre pasa la temperatura de re-cristalización las propiedades mecánicas del metal en esta zona descienden considerablemente y estas no pueden ser recuperadas por tratamientos térmicos. Otra zona de la ZAC es la parte entre la soldadura y el material sin fundirse en la línea de fusión esta zona no es afectada drásticamente pero hay un crecimiento de grano cerca de la línea de fusión este se puede observar en las figuras 72, 78, 79 y 85, donde se observó cómo se precipita cementita en los bordes de grano.

Zona de Soldadura

La solidificación del metal de soldadura es influenciada por la composición química del sistema, por la geometría de la pileta líquida y por las condiciones térmicas bajo las que tiene lugar. En el proceso de soldadura SMAW la escoria posee una influencia en la solidificación y en el proceso GMAW el gas de aporte.

En la zona de soldadura el crecimiento de grano es preferencial hacia el área de menor intensidad de calor que se puede observar en la figura 75 y 85.

La microestructura de la soldadura es compuesta básicamente por ferrita en su forma primaria, ferrita acicular, ferrita poligonal con presencia de perlita.

Zona de línea de Fusión.

La microestructura de la línea de fusión contiene una estructura *Widmanstätten*, un enfriamiento rápido desde temperaturas relativamente altas donde encontramos austenita que se transforma en ferrita, con un crecimiento obligado de granos alargados en direcciones preferenciales. Este tipo de microestructura se lo puede visualizar en la figura 81, 82, 84 y 85.

Zona de Material.

La zona que no es afectada por el calor conserva su estructura granular la cual revela una microestructura ferrítica, con un porcentaje de perlita considerable, y una estructura equiaxial con un tamaño de grano fino delineado.

Comparación zona de Soldadura en los procesos SMAW y GMAW

Se puede observar que la microestructura formada por el proceso GMAW es más ramificada y tiene mayor ferrita en borde de grano Fig. 75 que la microestructura de la soldadura por SMAW Fig. 72, teniendo este un grano más definido de ferrita primaria. La presencia de perlita es mayor en el proceso GMAW que en el SMAW.

Comparación zona Afectada por el Calor (ZAC) en los procesos SMAW y GMAW

Al comparar los procesos de soldadura la mayor afectación por el calor se presenta en el proceso SMAW seguido por el proceso GMAW, esto se debe a la alta penetración del proceso así como la energía de la aportación del calor. Por lo tanto, el proceso SMAW tiene una zona mayor en área que el proceso GMAW.

Comparación del tamaño de grano entre el material base y la ZAC

Tabla 87 Diferencias tamaño de grano en micrografías

Identificación	Fig. de la Micrografía	Tamaño de grano	
		Material [Tamaño de grano]	ZAC [Tamaño de grano]
MNGC	75	5,21	4,78
MNGVP	76	6,48	5,9
MNGVS	77	5,05	4,02
MNSC	72	4,56	5,08
MNSVP	73	4,53	4,28
MNSVS	74	4,93	4,53
MCSC	78	5,86	4,2
MCSV	79	5,15	3,97
MCSV	80	4,53	2,98
MSGC	84	5,08	5,52
MSGVP	85	5,13	3,78
MSGVS	86	4,99	4,02
MSSC	81	5,52	5,83
MSSVP	82	5,6	4,64
MSSVS	83	4,64	5,68

Fuente: Propia

En la tabla 87 mostramos la diferencia de tamaño de grano en micrografías entre la ZAC y el material base teniendo como resultado que la mayoría de los granos de la zona ZAC son mayores en comparación al material base.

Los materiales que tienen granos pequeños presentan mayor resistencia que los materiales con grano grande, la zona afectada por calor es menos resistente que la zona del material original, lo cual es una zona vulnerable a fallas.

6.4.4. ANÁLISIS ENSAYOS DE TRACCIÓN

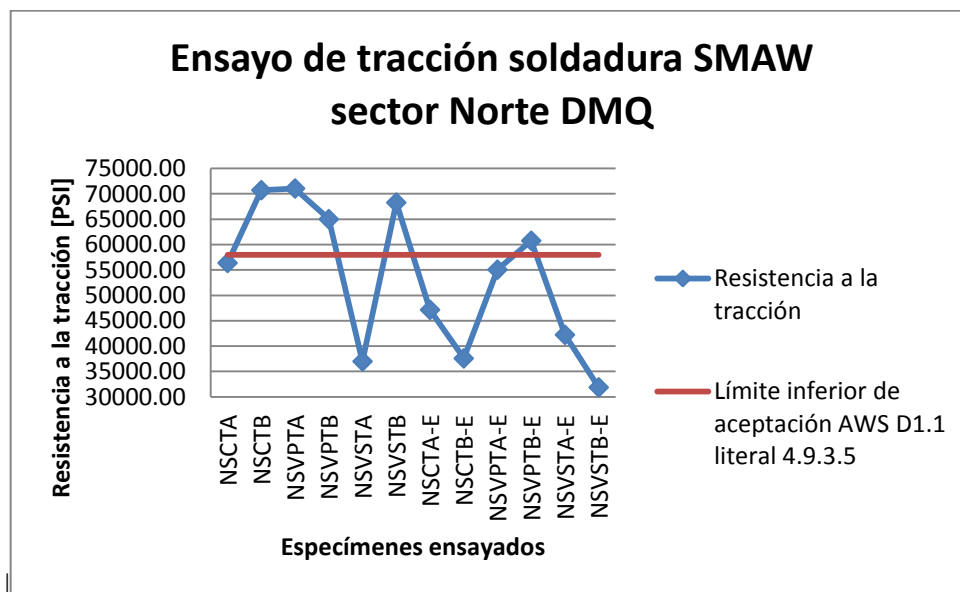


Fig. 98 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Norte DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 98 se observa que fueron las dos probetas sacadas de la columna, dos de la viga principal y dos de la viga secundaria, sumando en total 6 probetas de las conexiones de los perfiles. De estas, dos no cumplen con el límite inferior 58 ksi. Asimismo, fueron 6 probetas sacadas de las extensiones: dos columna-columna, dos viga principal- viga principal y dos viga secundaria- viga secundaria. De estas, cinco no cumplen con el límite inferior.

Es decir, la mayor falla identificada se presenta en las extensiones, en las uniones tope a tope. Teniendo en cuenta que las conexiones de columna se suelen hacer a los

6 metros en construcción, es crucial y muy importante un buen control de soldadura en las extensiones columna-columna. Según el principio de la construcción, es columna fuerte, viga débil.

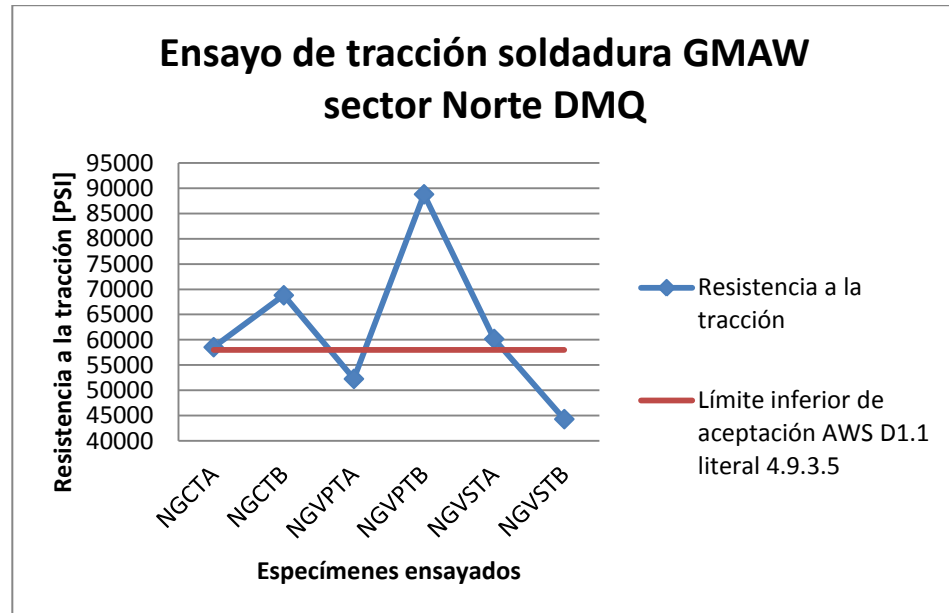


Fig. 99 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura GMAW sector Norte DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 99, se aprecia que dos de las seis probetas no cumplen con el límite inferior, 58 ksi resistencia a la tracción, donde pudo haber afectado la falta de fusión según la Fig. 91 (B).

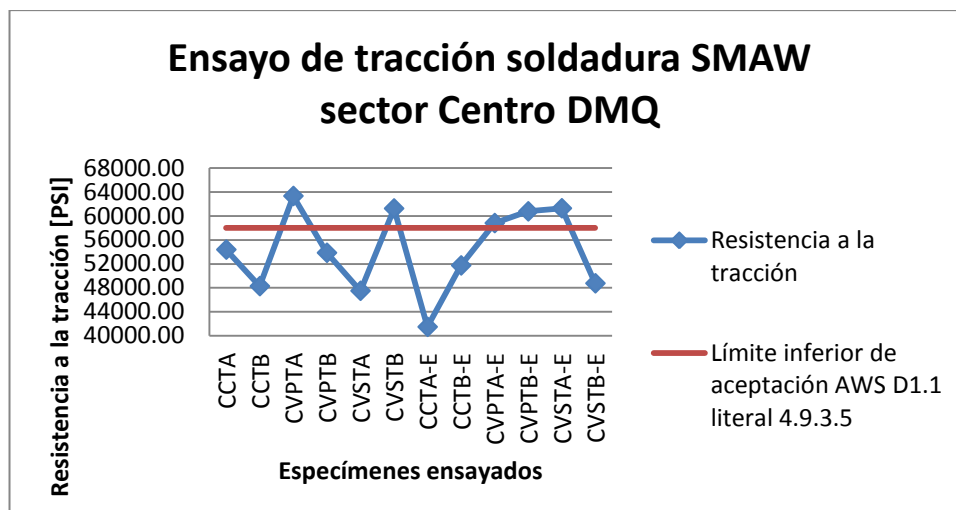


Fig. 100 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Centro DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 100 seis de las doce probetas no cumplen con el límite inferior de aceptación de 58ksi. La causa principal es el electrodo usado E6011, cuya resistencia a la tracción es de 60ksi, donde todas las probetas se rompieron en la soldadura y deberían romperse en el material.

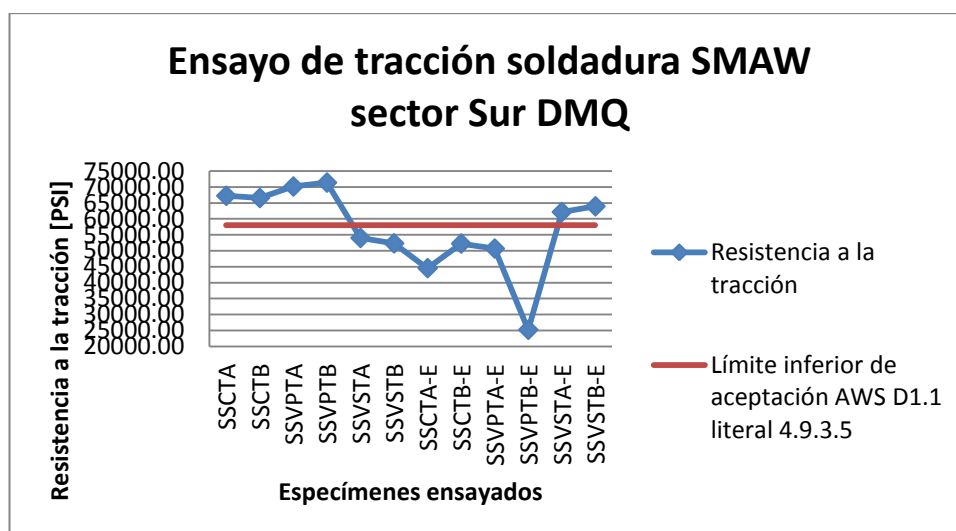


Fig. 101 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura SMAW sector Sur DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 101, se aprecia que seis de las doce probetas no cumplen con el límite inferior 58ksi y según la Fig. 94 (A), el socavado tiene un buen porcentaje de defecto, lo que provoca un área débil de la soldadura, cuya fractura del material es evidente en las probetas. Y de las seis que no cumplen, cuatro fallan en las extensiones: dos en la extensión columna-columna y dos en la extensión viga principal- viga principal.

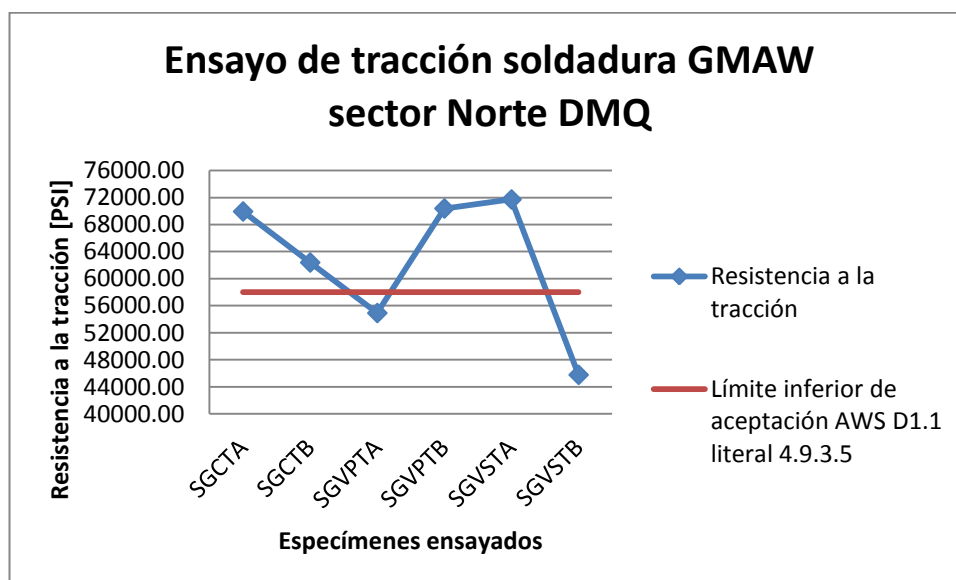


Fig. 102 Grafico de Aceptación en ensayos de tracción soldadura GMAW sector Sur DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 102 dos de las seis probetas no cumplen con el límite inferior de aceptación de 58 ksi, las cuales se rompieron en el área de la soldadura.

Se usó un alambre sólido E 70 S-6 en el proceso GMAW, tanto para el sector norte como para el sector sur, el cual tiene 74 ksi como resistencia a la tracción y electrodos E7018 en el proceso SMAW tanto para el sector norte como para el sector

sur, el cual tiene 70 ksi como resistencia a la tracción. Es decir para que las probetas se rompan en la soldadura debieron haber sobrepasado los 74 ksi. Por esa razón se debió haber roto en el material, donde la norma ASTM A36, nos indica que la resistencia a la tracción va desde 58 ksi hasta 80 ksi.

6.4.5. ANÁLISIS ENSAYOS DE DOBLADO

Para realizar las probetas se removió el exceso de soldadura en las que era necesario y también el exceso de material ya que la mayoría de los perfiles eran correas (perfiles “G”). Por este motivo, las discontinuidades que se presentaron eran internas, en cuanto a poros.

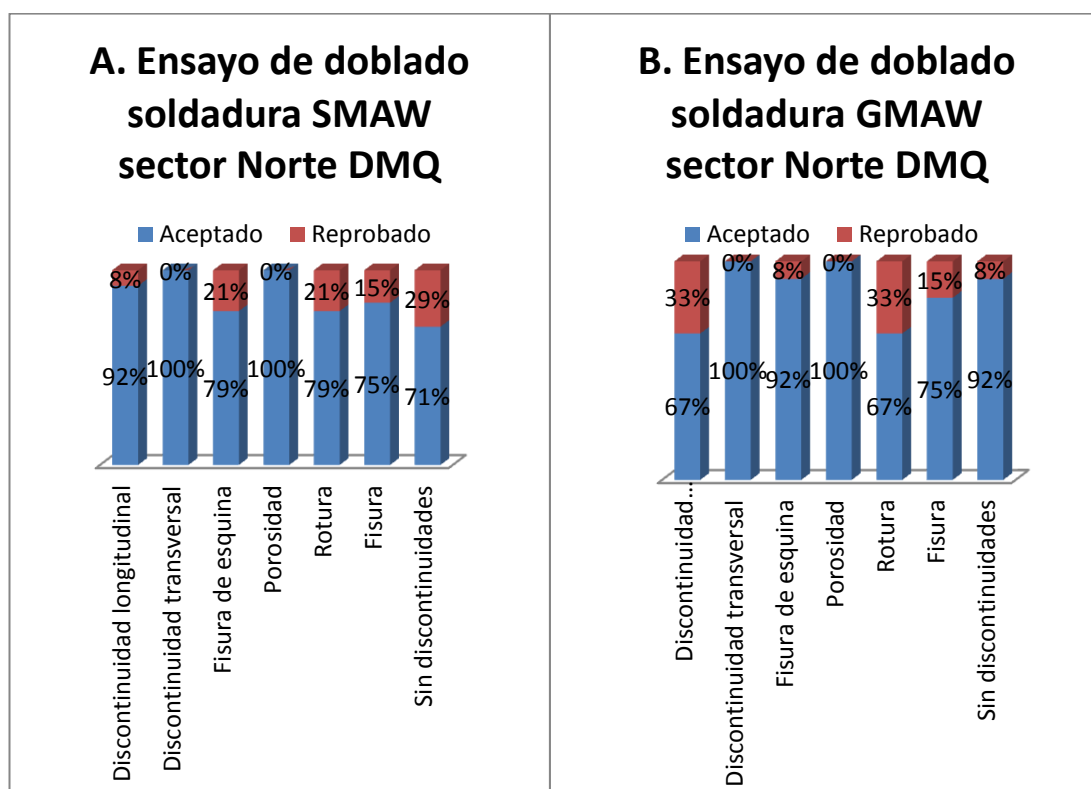


Fig. 103 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Norte DMQ

Fuente: Propia

La Fig. 103 nos muestra un análisis porcentual de las probetas con discontinuidades. En los dos procesos tuvimos un gran porcentaje de probetas aceptadas, siendo el mayor problema de las probetas rechazadas; las fisuras y la rotura. Se puede deber a muchos factores, socavado en la soldadura, recristalización de la soldadura y el material. El proceso GMAW (Fig. 103 (B)), presenta un gran porcentaje de discontinuidades longitudinales.

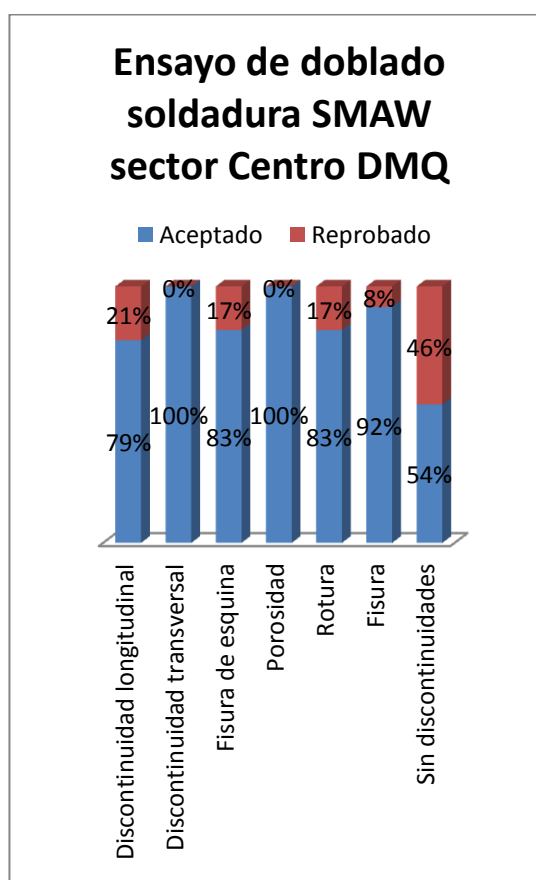


Fig. 104 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Centro DMQ

Fuente: Propia

En la Fig. 104 se observa que los ensayos de doblado del sector centro, presentan discontinuidades longitudinales, fisuras y rotura completa de la probeta. La rotura pudo deberse a que se trata de un material delgado y fue conformado en frío, el

material se endurece perdiendo su plasticidad, y a esto se le suma el calor afectado por la soldadura.

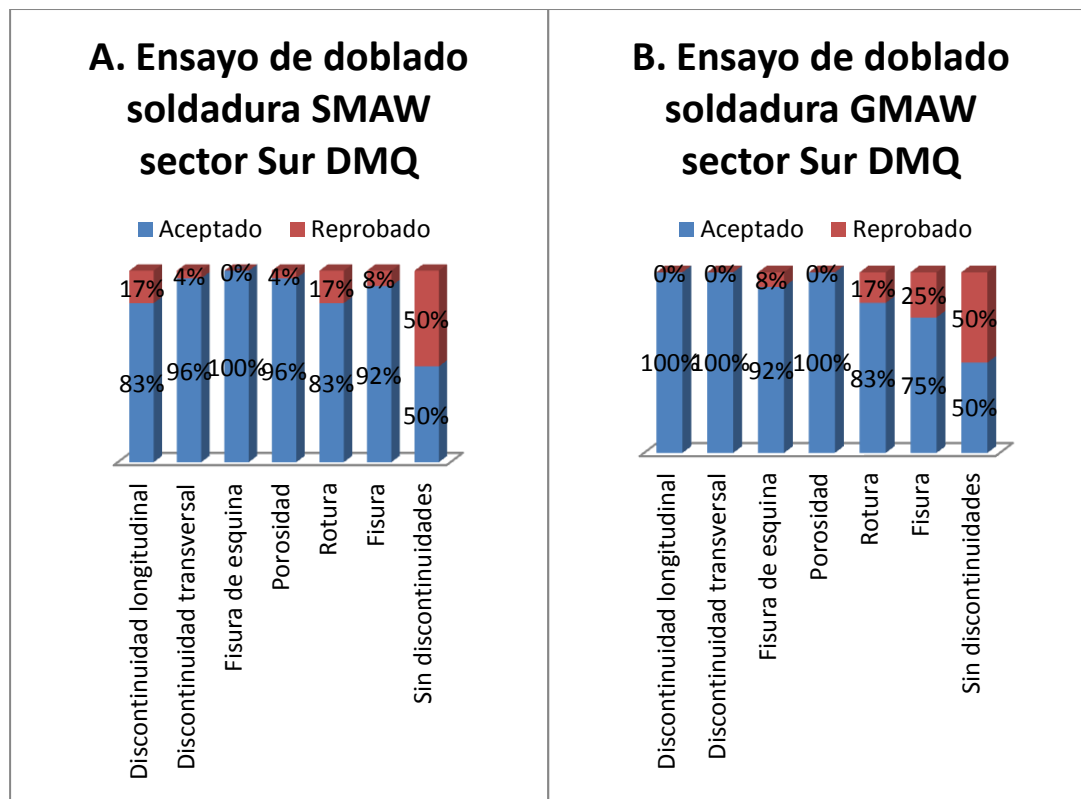


Fig. 105 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de doblado de cara y raíz sector Sur DMQ

Fuente: Propia

La Fig. 105. en los dos procesos nos indica que el 50% de las probetas fueron aceptadas. En el proceso SMAW las discontinuidades longitudinales y la rotura de las probetas predominan. En cuanto al proceso GMAW, las fisuras y la rotura de las probetas son un alto porcentaje, donde las discontinuidades longitudinales tuvieron un 100% de aceptación.

6.4.6. ANÁLISIS ENSAYOS DE FILETE

Las juntas soldadas columna-viga principal y viga principal – viga secundaria, se realizó con el proceso SMAW, ya que es el proceso usado en el montaje de la estructura.

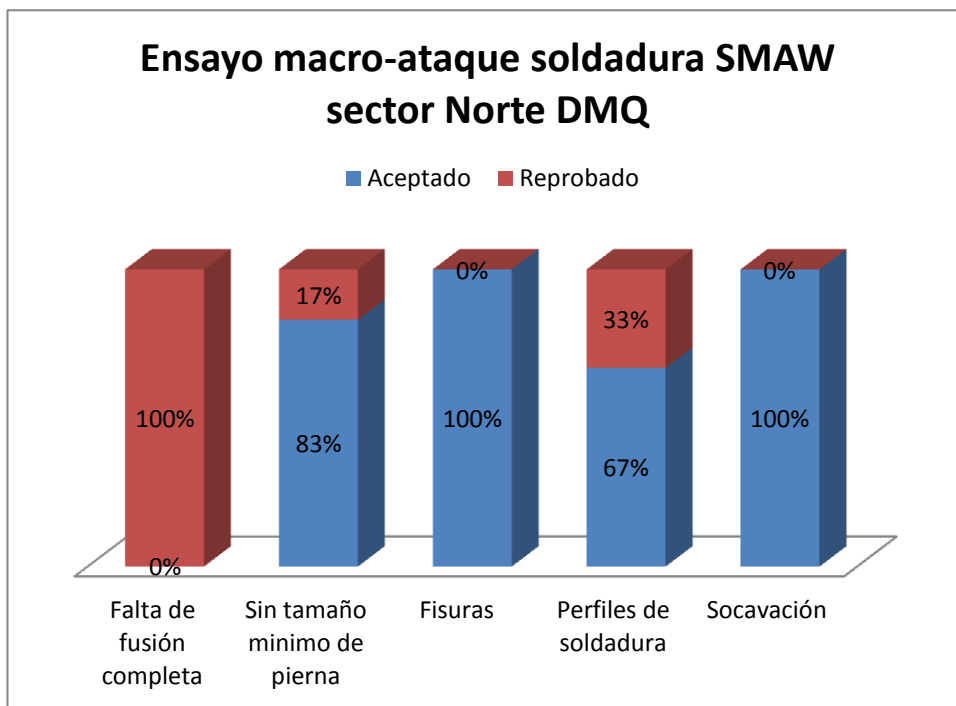


Fig. 106 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Norte DMQ

Fuente: Propia

El problema principal en la réplica del sector norte (Fig. 106), es la falta de fusión y se debe a que al momento de soldar como son soldaduras sobre cabeza, vertical descendente o ascendente dependiendo de la habilidad del soldador, la soldadura es de bajo amperaje y por ende es de menor penetración. El bajo amperaje es en cambio positivo para no tener socavación en el material, teniendo como resultado un 100% de satisfacción. Lo ideal para conseguir una soldadura de calidad es calibrar el amperaje para evitar los defectos antes mencionados tomando en cuenta

que debe haber suficiente amperaje para tener una buena penetración y fusión uniforme de la junta. En cuanto a perfiles y tamaño de soldadura, se puede solucionar pasando un segundo cordón delgado para cumplir con la norma.

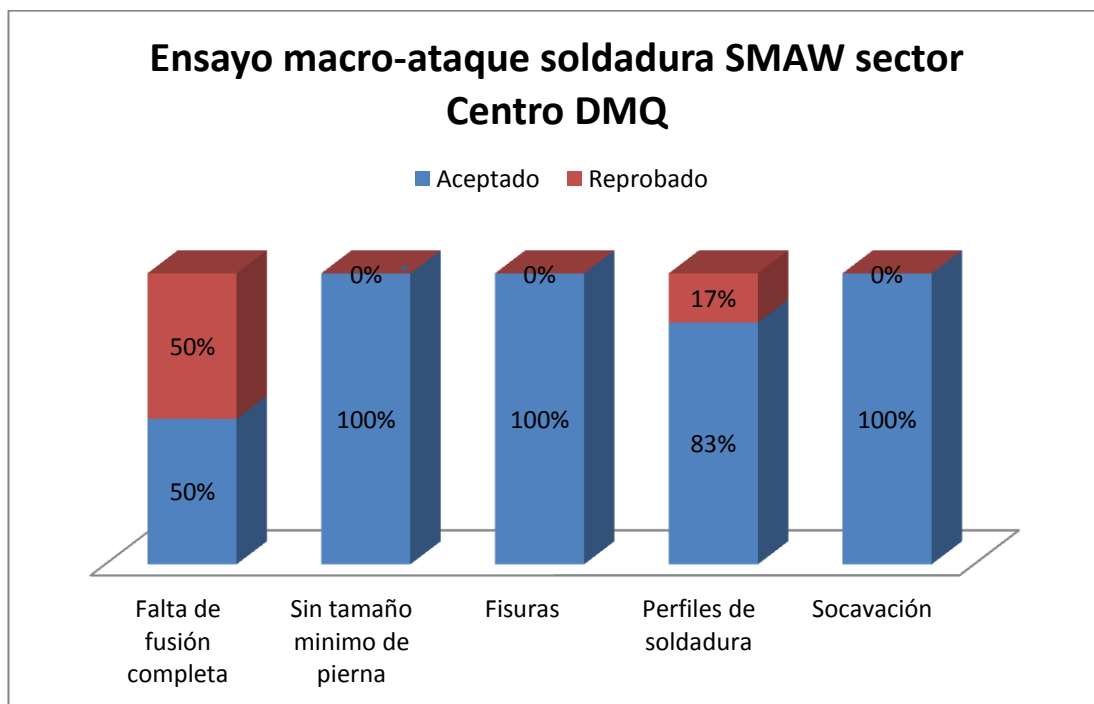


Fig. 107 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Centro DMQ

Fuente: Propia

En la réplica del sector sur (Fig. 107) la falta de fusión es un problema a pesar de que se soldó perfiles de bajos espesores, pero se puede seguir pensando que el problema es el electrodo E6011, el cual no es un electrodo para estructuras. En cuanto al resto de discontinuidades, el único problema hallado fueron los perfiles de soldadura, lo que puede ser solucionado soldando un segundo cordón.

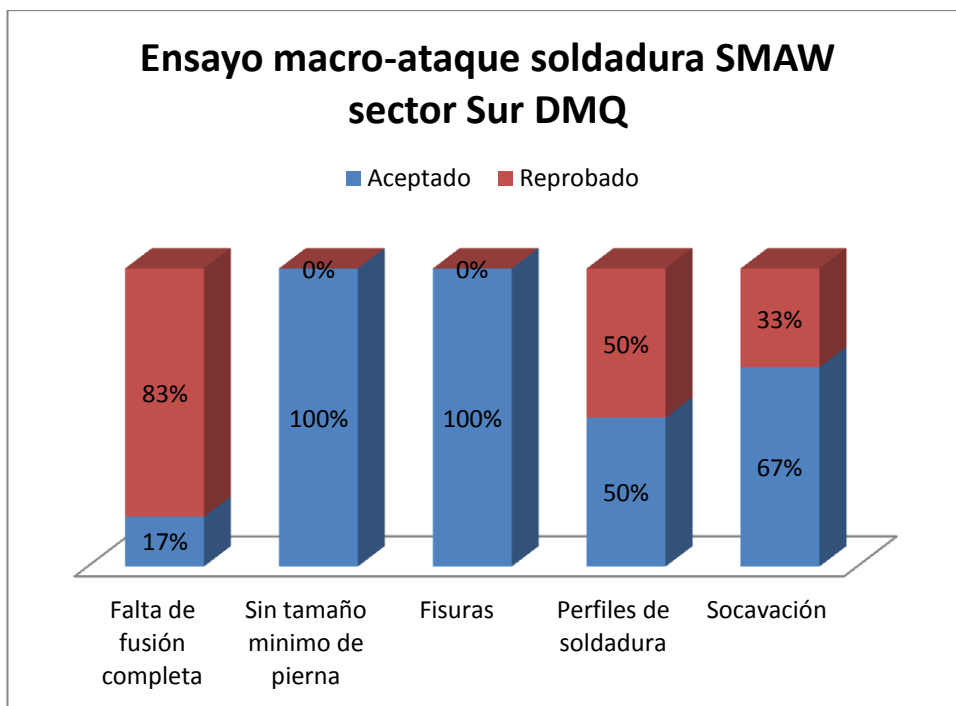


Fig. 108 Análisis porcentual de las discontinuidades en ensayo de macro-ataque en filete sector Sur DMQ

Fuente: Propia

La réplica del sector sur (Fig. 108), también sufrió el mismo problema de las anteriores replicas, es decir para soldar se baja el amperaje lo cual nos da como defecto falta de fusión y nos favorece a que no exista socavación. En cuanto a perfiles de soldadura como se dijo anteriormente se soluciona soldando un segundo cordón.

CAPITULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Para el análisis económico calculamos los costos reales de producción para nuestro estudio de la soldadura en los perfiles conformados en frío, para esto nos basamos en el cálculo de costos de fabricación de juntas soldadas así como también los costos de los ensayos destructivos y no destructivos para estudiar el comportamiento mecánico.

Como la soldadura está relacionada en forma directa a otras operaciones, nunca debe ser considerada y costada aisladamente.

7.1.1. COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS

Los materiales directos para nuestro estudio tendrán una relación directa con las juntas soldadas y los ensayos destructivos y no destructivos como se muestran en las tablas de la 88 a la 91.

Tabla 88 Costos materiales directos capítulo 3

Costos materiales directos capítulo 3				
Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
Alúmina	Lb	1	145.00	145.00
Paño de felpa 200 mm	unidad	4	3.00	12.00
Kit de lijas de agua	unidad	3	2.48	7.44
Agua destilada	Gl	1	2.22	2.22
Metanol	L	3	2.97	8.91
Disco de corte	unidad	3	3.25	9.75
			Subtotal	185.32
			12% I.V.A.	22.24
			Total	207.56

Fuente: Propia

En la compra de los perfiles conformados en frío tuvimos el auspicio de IPAC que dono 5 perfiles y el resto fueron gastos directos en nuestro estudio.

Tabla 89 Costos materiales directos capítulo 4

Costos materiales directos capítulo 4			
Tipo de perfil	Cantidad	Precio neto	Valor
G 150x50x25x4.00x6000 mm	1	50.17	50.17
G 100x50x15x2.00x6000 mm	2	17.69	35.38
G 150x50x15x3.00x6000 mm	1	31.85	31.85
G 200x75x25x4.00x6000 mm	1	68.51	68.51
G 250x75x30x4.00x6000 mm	2	79.52	159.04
G 300x100x30x4.00x6000 mm	1	97.85	97.85
U 200x50x3.00x6000 mm	1	35.50	35.50
		Subtotal	478.30
		12% I.V.A.	57.40
		Total	535.70

Fuente: Propia

Tabla 90 Costos insumos de soldadura directos capítulo 4

Costos insumos soldadura capítulo 4				
Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
CO ₂ botella de 20kg o 10 m ³	m ³	10	2.3	23
Electrodos E7018 Ø 1/8 in	Kg	7	3.83	26.81
Electrodos E6011 Ø 1/8 in	Kg	2	3.38	6.76
Alambre MIG Ø 0.9 mm	Kg	15	3.61	54.15
			Subtotal	87.72
			12% I.V.A.	10.53
			Total	98.25

Fuente: Propia

Tabla 91 Costos materiales directos capítulo 5

Costos materiales directos capítulo 5				
Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
Juego de Líquidos Penetrantes	kit	1	29.97	29.97
Tinher	Gl	1	7.65	7.65
Brocha	Unidad	1	1.75	1.75
Lupa	unidad	1	10.00	10.00
Gratas de limpieza	unidad	2	5.50	11.00
Material fabricación punzones doblado	unidad	1	9.33	9.33
Herramientas Macrografía	unidad	1	10.00	10.00
			Subtotal	79.7
			12% I.V.A.	9.56
			Total	89.26

Fuente: Propia

7.1.2. COSTOS DE SOLDADURA

Los sistemas de costos de soldadura en general incluyen factores como mano de obra, materiales consumibles, energía, costos de utilización de equipos, y costos generales.

7.1.2.1. Elementos de Costos en el proceso de soldadura.

El modelo de costos de soldadura que se presenta propone un rango general y simple para poder calcular los costos de una manera más eficiente.

7.1.2.1.1. Factor operador.

Cuando se realiza una construcción soldada hay dos tiempos que se deben tomar en cuenta, estos son el tiempo en el que el operador está efectivamente depositando material y los tiempos de accesorios. Al primero se le conoce como duración de arco y viene a ser el tiempo en que el soldador está depositando metal en la junta. Entre los tiempos de accesorios se tiene: tiempo de ensamble, de posicionamiento y de

preparación de la junta. Cuando retira un montaje de su posición o limpia una soldadura. La tabla 92 muestra el factor operador para los procesos SMAW y GMAW

Tabla 92 Factor operador de procesos de soldadura

Método de soldadura	Factor operador [%]
SMAW	5 – 30
GMAW	10 – 60

Fuente: Manual de Soldadura Indura

7.1.2.1.2. Requerimiento y costo del metal de aporte

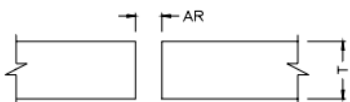
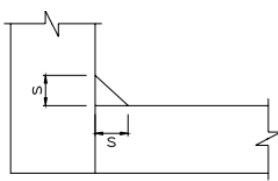
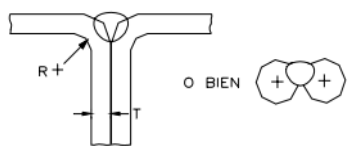
El peso del metal de aporte que se compra para ejecutar la soldadura o la construcción soldada es mayor que el peso del depósito del metal.

El costo del cálculo de costos en soldadura se basa en la cantidad de material depositado en la unión para esto estandarizamos el material de aporte depositado en los diferentes tipo de juntas utilizadas que varían de acuerdo al espesor y la geometría de las mismas.

En la tabla 93 se ilustra las fórmulas para las distintas juntas con las siguientes nomenclaturas.

- A: Angulo del surco o bisel.
- CSA: Área de la sección transversal.
- R: Radio (en la junta de brote en V).
- AR: Abertura de raiz.
- T: Espesor.
- S: Tamaño de pierna de filete.

Tabla 93 Tabla de áreas de la sección transversal de los tipos de juntas usados

Tabla de áreas de la sección transversal de los tipos de juntas usados		
Tipo de Junta	Croquis-Diseño	Fórmula para el área de la sección transversal
Junta a Tope		$CSA = AR \times T$
Junta en T		$CSA = \frac{1}{2}(S)^2$
Junta de canal de brote en v		$CSA = \frac{5R^2 - \pi R^2}{3}$ donde: $R = 1.5 T$

Fuente: propia

El material depositado se calcula con la ecuación 3:

Peso del metal depositado = PMD

$$PMD \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] = CSA [\text{mm}^2] \times 7.85 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \right] \times 1000 \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right] \quad \text{Ec. 3}$$

Hay otro método para calcular la cantidad de metal de soldadura necesario cuando se usen procesos de alambre continuo. Es adecuado para la soldadura en un solo paso. Se necesitan tres cálculos sencillos, pero el resultado final es el costo del electrodo por metro de soldadura.

El primer paso es determinar la cantidad de electrodo usado, expresada como kg por hora, aplicando la ecuación Ec. 4.

$$\text{Velocidad de depósito} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right] = \frac{\text{Velocidad de alimentación del alambre} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \times 60}{\text{Longitud de alambre por kg} \left[\frac{\text{m}}{\text{kg}} \right]} \quad \text{Ec. 4}$$

También debemos identificar la velocidad de soldadura y expresarla en metros por hora este dato está en los procedimientos de soldadura caso contrario se debe hacer pruebas para determinar la velocidad de recorrido al hacer la soldadura.

Para determinar el peso del metal de soldadura por metro de soldadura como se muestra la ecuación Ec. 5.

$$\text{PMD} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] = \frac{\text{Velocidad de depósito} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right]}{\text{Velocidad de recorrido} \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]} \quad \text{Ec. 5}$$

El costo del metal de aporte se puede calcular de distintas maneras. La más común se basa en el costo por metro de soldadura, como se puede ver en la ecuación Ec. 6. En esta fórmula se puede tomar el rendimiento del metal de aporte la tabla 94.

$$\text{Costo de electrodo} \left[\frac{\$}{\text{m}} \right] = \frac{\text{Precio electrodo} \left[\frac{\$}{\text{kg}} \right] \times \text{PMD} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]}{\text{Rendimiento del metal de aporte} [\%]} \quad \text{Ec. 6}$$

Tabla 94 Tabla de rendimiento del metal de aporte

Proceso	Eficiencia deposición (%)
Electrodo manual	60-70
MIG sólido	90

Fuente: Manual de soldadura Indura

7.1.2.1.3. Gas de protección

El costo del gas se relaciona con el tiempo necesario para ejecutar la soldadura. Entonces, el costo del gas se puede calcular de dos modos. Generalmente, el costo del gas se basa en el costo por metro de la soldadura, y se calcula usando la ecuación Ec. 7.

$$\text{Costo gas} \left[\frac{\$}{\text{m}} \right] = \frac{\text{Precio del gas} \left[\frac{\$}{\text{m}^3} \right] \times \text{caudal} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]}{\text{Velocidad de recorrido de soldadura} \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]} \quad \text{Ec. 7}$$

Al calcular el costo de hacer una soldadura de punto, una soldadura pequeña, o para una parte estrecha, se usa el costo de gas por minuto de operación y se puede calcular mediante la ecuación Ec. 8.

$$\text{Costo gas} \left[\frac{\$}{\text{m}} \right] = \frac{\text{Precio del gas} \left[\frac{\$}{\text{m}^3} \right] \times \text{caudal} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right] \times \text{Tiempo soldadura} [\text{min}]}{60} \quad \text{Ec. 8}$$

7.1.2.1.4. Costos de electricidad

El costo se puede considerar como un gasto general o directo también para calcular el costo se usa la ecuación Ec. 9.

Costo Energía Eléctrica = Costo EE

$$\text{Costo E. E.} \left[\frac{\$}{\text{m}} \right] = \frac{\text{Tarifa eléctrica} \left[\frac{\$}{\text{Kwh}} \right] \times \text{Volts} \times \text{Amperios} \times \text{PMD} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]}{1000 \times \text{Velocidad depósito} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right] \times \text{Factor operador} [\%] \times \text{Eficiencia E.E.}} \quad \text{Ec. 9}$$

7.1.2.1.5. Costos de Mano de Obra en Soldadura

La base para calcular el costo de mano de obra en dólares por metro aparece en la ecuación Ec. 10. El factor operador es aquel que vimos anteriormente.

$$\text{Costo M. O.} = \frac{\text{Tarifa de pago soldador} \left[\frac{\$}{\text{hr}} \right]}{\text{Velocidad de recorrido} \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right] \times \text{Factor operador} [\%]} \quad \text{Ec. 10}$$

Cuando no se disponga de un catálogo de procedimientos de soldadura, o si la velocidad del recorrido implica más de un paso, se usa la ecuación Ec. 11.

$$\text{Costo M. O.} = \frac{\text{Sueldo Soldador} \left[\frac{\$}{\text{hr}} \right] \times \text{PMD} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]}{\text{Velocidad depósito} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right] \times \text{Factor operador} [\%]} \quad \text{Ec. 11}$$

En la tabla 95 se muestran los costos de soldaduras de los diferentes tipos de juntas en cada uno de los sectores del DMQ. Para cada Tipo de Junta está considerado los elementos que intervienen en los costos de soldadura que vivos anteriormente: Costo de material de aporte, Costo de Electricidad, Costo de Mano de Obra, Costo de Gas. Véase Anexo H: Ejemplo de cálculo de costos de soldadura.

Tabla 95 Costos de soldadura de tipo de juntas para proceso de soldadura SMAW y GMAW para los sectores del DMQ

Costo soldadura capítulo 4				
Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Sector sur proceso de soldadura SMAW				
Costo Soldadura Tope	\$/m	2.5	2.38	5.94
Costo Soldadura Filete	\$/m	3	3.71	11.13
Costo Soldadura Brote en V	\$/m	9	6.62	59.58
Sector sur proceso soldadura GMAW				
Costo Soldadura Brote en V	\$/m	6	7.62	45.71
Sector norte proceso de soldadura SMAW				
Costo Soldadura Tope	\$/m	4.9	2.38	11.64
Costo Soldadura Filete	\$/m	2.2	3.71	8.16
Costo Soldadura Brote en V	\$/m	6	6.62	39.72
Sector norte proceso de soldadura GMAW				
Costo Soldadura Tope	\$/m	2	3.40	6.80
Costo Soldadura Brote en V	\$/m	4	7.61	30.45
Sector centro proceso de soldadura SMAW				
Costo Soldadura Tope	\$/m	1.3	1.78	2.32
Costo Soldadura Filete	\$/m	0.8	3.71	2.97
Costo Soldadura Brote en V	\$/m	9	3.72	33.52
			Total \$	257.93

Fuente: propia

7.1.3. COSTOS DE MANO DE OBRA

Los costos de Mano de Obra están explicado en la tabla 96 aquí se considera la mano de obra del soldador como también de los asistentes del soldador como también la mano de obra para extracción de probetas para los ensayos mecánicos y no mecánicos.

Tabla 96 Costo de mano de obra

Costo mano de obra capítulo 3				
Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Corte manual probetas calificación material	Hora	6	2.28	13.65
Costo mano de obra capítulo 4				
Preparación juntas soldadas ayudante soldador	Hora	12	3.65	43.80
Cortes por amoladora preparación de junta	Hora	8.75	2.28	19.91
Soldador Norte	Horas	10	5.25	52.5
Soldador Centro	Horas	6.75	4.50	30.38
Soldador Sur	Horas	11	5.25	57.8
			Total \$	217.98

Fuente: propia

7.1.4. COSTOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos mecánicos se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE por lo cual los costos son auspiciados por la Universidad, los ensayos en un laboratorio particular tendrían los siguientes costos mostrados en la tabla 97.

Tabla 97 Costos de Ensayos Destructivos

Costos ensayos destructivos				
Capítulo 3				
Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ensayos de tracción	Unidad	12	20.00	240.00
Capítulo 5				
Ensayos de tracción	Unidad	48	20.00	960.00
Ensayos doblado de cara	Unidad	48	20.00	960.00
Ensayos doblado de raíz	Unidad	48	20.00	960.00
			Total \$	3120.00

Fuente: propia

7.1.5. COSTOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En la tabla 98 se muestran los costos de los ensayos no destructivos como: Ensayos químicos, micro-gráficos, macro-gráficos, inspección visual de los cuales los ensayos macro-gráficos y micro-gráficos fueron realizados y auspiciados por el laboratorio de ciencia de los materiales Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Tabla 98 Costos ensayos no destructivos

Ensayos No Destructivos				
CAPITULO 3				
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Análisis químico y mineralogía	unidad	6	56,00	336,00
Ensayos Metalográficos	unidad	12	100,00	1200,00
CAPITULO 5				
Ensayo de Líquidos penetrantes	ensayo	30	40,00	1200,00
Ensayos Metalográficos	ensayo	15	100,00	1500,00
Ensayos de Macrografía	ensayo	18	40,00	720,00
			Total \$	4956,00

Fuente: propia

7.1.6. COSTOS DE INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Engloban todos los gastos indirectos (ver tabla 99 a la 105), que incidirán en el costo total del trabajo a realizar. Estos incluyen: costo de materiales indirectos, transporte, gastos generales y todos los elementos que agregan costo al trabajo.

Tabla 99 Costos materiales indirectos de soldadura

Costos insumos indirectos de soldadura				
CAPITULO 4				
Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
Cepillo alambre	Unidad	1	3.00	3.00
Piqueta	Unidad	1	4.00	4.00
Casco Solador	Unidad	1	5.75	5.75
Mandil de cuero	Unidad	1	5.50	5.50
Guantes	Unidad	1	7.70	7.70
			Subtotal	25.95
			12% I.V.A.	3.11
			Total \$	29.06

Fuente: Propia

Tabla 100 Costos materiales indirectos de fabricación de juntas soldadas y extracción de probetas

Costos materiales indirectos de fabricación de juntas soldadas y extracción de probetas				
Capítulo 4				
Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
Disco de corte	unidad	14	3.26	45.64
Disco de abrasión	unidad	1	4.33	4.33
Guantes	Unidad	2	4.00	8.00
Tizas para metal	Unidad	10	0.19	1.90
Marcador de metal	Unidad	1	6.70	6.70
			Subtotal	66.57
			12% I.V.A.	7.99
			Total \$	74.56

Fuente: Propia

Tabla 101 Costos de gastos generales

Costos generales				
Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Asistencia Profesional	Horas	10	0.00	0.00
Insumos Oficina	Varios	1	100.00	100.00
Transporte	unidad	1	80.00	80.00
Transporte Material	Viajes	6	10.00	60.00
Gastos extras	Unidad	1	15.00	15.00
Telefonía	Mes	9	5.00	45.00
			Total \$	300.00

Fuente: Propia

7.2. COSTOS DE EQUIPO

Los costos de equipos se verán en la tabla 102 y están considerados el costo de máquinas como: soldadoras, amoladoras, fresas, en si la utilización necesaria de maquinaria y equipos para realizar nuestro proyecto, la utilización de los equipos de metrología fueron realizados y auspiciados por el Lab. Metalurgia UFFAA-ESPE.

Tabla 102 Costos de equipos, maquinaria.

Costos de equipos y maquinados y cortes presupuestados				
Capítulo 3,4 y 5				
Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Fresado de probetas de tensión	unidades	12	4.00	48.00
Equipos e instrumentos metrología	Hora	10	5.00	50.00
Cortes por amortajadora preparación de juntas	Cortes	28	0.25	7.00
Hora maquina soldadora	Hora	25	1.00	25.00
Corte por plasma extracción de probetas	Cortes	144	2.71	390.00
Corte por amoladora de probetas de macrografía y micrografía	Cortes	27	1.11	30.00
Fresado de probetas de tensión sección reducida	unidades	48	3.50	168.00
			Total \$	718.00

Fuente: Propia

7.3. COSTOS TOTALES

En la tabla 103 podemos observar los costos totales para realizar tanto el estudio que en síntesis abarca:

- Estudio del material conformado en frío
- Soldadura de los tipos de juntas soldadas más importantes en los diferentes sectores del DMQ.
- Estudio del comportamiento mecánico en base a ensayos destructivos y no destructivos.

Tabla 103 Costos totales del estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas

COSTOS TOTALES	
Costos de Materiales Directos	956,52
Costos de Equipos y Maquinados	718,00
Costos de Soldadura	257,93
Costos de Mano de Obra	217,98
Costos de Ensayos Destructivos	3120,00
Costos de Ensayos No Destructivos	4956,00
Costos Indirectos y Generales	403,62
Total \$	10630,06

Fuente: propia

En la tabla 104 están detallados los gastos reales de nuestro proyecto.

Tabla 104 Costos totales reales del estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas

COSTOS TOTALES REALES	
Costos de Materiales Directos	612,62
Costos de Equipos y Maquinados	718,00
Costos de Soldadura	257,93
Costos de Mano de Obra	217,98
Costos de Ensayos Destructivos	0,00
Costos de Ensayos No Destructivos	1536,00
Costos Indirectos y Generales	403,62
Total \$	3746,16

Fuente: propia

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento mecánico de las juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío utilizados en estructuras metálicas, destinadas para viviendas de hasta 3 pisos para el DMQ, por medio de ensayos destructivos y no destructivos, permite formular las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son desfavorables, debido a que un gran número de probetas no cumplieron los requerimientos mínimos que dictan las distintas normas mencionadas a lo largo del documento.

- La calificación del material ASTM A36 obtenidos de construcciones en diferentes sectores del DMQ, dio resultados satisfactorios, con base en los ensayos químicos, metalúrgicos y mecánicos. El material analizado cumple con los requisitos que estipulan las normas.

- La única falencia que tienen los perfiles conformados en frío usados en el DMQ son debido a parámetros geométricos, según la norma NEC 1623. La principal falencia es su forma de fabricación, ya que estamos usando perfiles conformados en frío en base a planchas laminadas en caliente. La tendencia del proceso de fabricación es a fallar en dimensiones geométricas, sea por la tecnología de maquinaria, por antigüedad o desgastamiento de las máquinas que no generan perfiles con medidas adecuadas, como también por la manipulación de los mismos en almacenamiento y transporte, creando dificultades al momento de

soldar un miembro estructural, en base a perfiles conformados en frío no uniformes, presentando deformaciones en los extremos y en el medio.

- Los procesos de soldadura SMAW y GMAW usados para construcciones son aptos para acero el ASTM A36, siempre y cuando se sujeten a las normas y recomendaciones de acuerdo a cada proceso, pero no se toman las recomendaciones y los parámetros que deben regir los procesos para una soldadura de calidad. Por ejemplo, no se están transportando ni secando térmicamente los electrodos E7018, lo cual crea fisuras y porosidad por la presencia de humedad, así como la mala elección de electrodos E6011, que no son aptos para construcciones de estructuras metálicas, teniendo en cuenta que la norma D1.8 especifica claramente que para evitar micro fisuras generadas por el efecto HIC, se debe usar electrodos de bajo hidrógeno para conservar la seguridad sísmica necesaria en el DMQ.
- Para lograr una junta soldada de calidad, debe existir un equilibrio entre habilidad y técnica del soldador, selección de material de aporte según el material base y elección de un proceso de soldadura de acuerdo a lo que va a estar sometida la junta. En los casos analizados, se evidencia la inexistencia del equilibrio requerido, recalcando la falta de habilidad y técnica de los soldadores y la mala elección de material de aporte en el sector centro.
- Las probetas que se extrajeron fueron de réplicas de juntas usadas para estructuras metálicas en viviendas del DMQ, dando una evaluación más real, precisa y sin mayor error para nuestro estudio y así determinar el

comportamiento al cual estos tipos de junta están sometidos e identificar la causa de los fallos en los diversos ensayos.

- Los datos obtenidos de los ensayos mecánicos, ensayos de doblado y ensayos de macro-ataque son desfavorables, ya que el 50%, 61% y 72% de las probetas ensayadas respectivamente, fallaron. Esto refleja la deficiencia de la soldadura siendo el foco de fallo las discontinuidades o defectos encontrados en la soldadura como ser poros, falta de fusión, grietas y socavados, entre otros.
- A nivel estructural, un defecto importante en las juntas de columna-viga y viga principal-viga secundaria, es la falta de fusión que se observó en los ensayos de macro-ataque, siendo el problema principal para que la junta falle en caso de un sismo. Es decir, la habilidad del soldador es predominante y hay que tener mayor control en este tipo de juntas.
- El control de soldadura debería hacerse continuamente tanto al proceso (WPS) como al soldador (calificación del soldador) y no solo al momento de la calificación de los mismos, para que los soldadores realicen de manera eficaz la ejecución de las juntas soldadas. De no ser así, los soldadores no tomarían la suficiente responsabilidad para ejecutar soldaduras de alta calidad.
- De los defectos encontrados por inspección visual y líquidos penetrantes en la soldadura, existen defectos que pueden corregirse y otros no, es decir los perfiles de soldadura, cráteres y soldaduras de poco tamaño, pueden ser rectificadas mediante un reproceso de la soldadura. Por otro lado, los socavados, grietas,

poros y falta de fusión dan un grado más de complejidad para ser reparados, teniendo en cuenta que el reproceso implica tiempo, costos y en especial afectación al material por el calor adicional al momento de soldar nuevamente.

- Cuando una junta soldada es sometida a un ensayo de tracción lo esperado es que la falla a la tracción ocurra en el material base, dando a conocer que la junta se encuentra bien ejecutada. El 95% de nuestros ensayos de tracción fallaron en el área de la soldadura, concluyendo que existe déficit en casi toda la estructura metálica.

8.2. RECOMENDACIONES

- Elaborar una norma ecuatoriana o manual de diseño de acero conformado en frío, con base en normas internacionales, que estipule los materiales que pueden ser usados, así como los tipos de conexiones y juntas, tipos de procesos de soldadura aplicables, tipos de estructuras, tipos de miembros, considerando los peligros geográficos de nuestro entorno.
- Considerar las condiciones ambientales, tanto en soldadura de campo como en taller, ya que es la causa de grietas y poros en la soldadura.
- Crear un Organismo Público de Control de Calidad de la Soldadura, encargado de inspeccionar todo tipo de construcciones metálicas, así como dar capacitaciones, charlas, dar a conocer nuevas normas nacionales e internacionales con sus respectivos suplementos, a fin de evitar la mala

construcción y así ante un desastre natural se reduzcan al máximo las pérdidas humanas.

- Concienciar a constructores de los peligros sísmicos, a fin de lograr un acertado diseño de acuerdo a normas adaptadas a nuestro entorno teniendo en cuenta los posibles peligros potenciales.
- En caso de que la norma ecuatoriana de construcciones metálicas, nos redirija a normas internacionales en inglés u otra lengua distinta a la nuestra, recomendamos tener acceso a dichas normas en español para evitar malas interpretaciones.
- A partir de los hallazgos contenidos en el presente proyecto, se recomienda el desarrollo de un estudio que se enfoque estrictamente en juntas y conexiones soldadas aplicando cargas dinámicas, a fin de obtener resultados complementarios a los obtenidos en este documento.

BIBLIOGRAFÍA

- AGA. (2002). *Catálogo de electrodos comunes, especiales y gases para corte y soldadura*. Guayaquil: Linde.
- AISI. (2007). *AISI S100 North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. (Primera, Ed.) Canada: Conacero.
- ASM. (1992). *ASM Metals Handbook Metallography and Microstructures*. (Vol. 9). United States: ASM International.
- ASM. (1993). *Metals Handbook Welding, Brazing and Soldering* (Vol. 6). United States: ASM internacional.
- ASTM. (1997). *ASTM A36/A36M Standar Specification for Structural Steel*.
- ASTM. (2006). *ASTM E 112. Metodo estándar para determinacion del tamaño de grano*. Universidad Nacional COMAHUE, Buenos Aires.
- ASTM. (2006). *ASTM E 340. Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys*. United States.
- ASTM. (2007). *ASTM A370 Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products*. United States.
- ASTM. (2007). *ASTM E 407. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. United States.
- ASTM. (2009). *ASTM E 7. Standard Terminology Relating to Metallography*. United States.
- ASTM. (2011). *ASTM E 3 Standard Guide for Preparation of Metallographic*. United States: ASTM.
- ASTM. (2011). *ASTM E 3. Standard Guide for Preparation of Metallographic*. United States.
- AWS. (1988). *AWS B1.11. Guide for the Visual Inspection of Welds*. United States.
- AWS. (1998). *AWS B4.0. Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*. United Stated.
- AWS. (2001). *AWS A5-18 Specification for Carbon Steel Electrodes and Rodes for Gas Shielded Arc Welding* (5ta ed.). Miami, United States.
- AWS. (2004). *AWS A5-1 Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding* (9na ed.). Miami, United States.

- AWS. (2005). *AWS D1.8. Structural Welding-Code Seismic-Suplement*. (Primera ed. ed.). Miami.: AWS.
- AWS. (2008). *AWS D1.3. Structural Welding Code-Sheet Steel. Miami*. AWS. (5ta ed. ed.). Miami: AWS.
- AWS. (2010). *AWS D1.1. Código de Soldadura Estructural-Acero*. (22da. ed. ed.). Miami: AWS.
- Bazán. (2002.). *Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistidos por computadora*. Universidad de Piura., Facultad de Ingeniería., Perú.
- Bresle, L. S. (1970.). *Diseño de estructuras de acero*. (Primera ed ed.). (E. M. ., Trad.) Mexico: Editorial Lumusa.
- Echeverria, I. R. (2002). *Defectología*. Universidad Nacional de COMAHUE, Laboratorio de Ensayos no destructivos., Argentina.
- Echeverria, I. R. (2003.). *Líquidos Penetrantes*. Universidad Nacional de COMAHUE , Laboratorio de Ensayos no destructivos. , Argentina.
- Escamilla, J. U. (1995.). *Analisis de estructuras*. (2da ed.). Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Frederick, M. &. (1984.). *Manual del ingeniero civil*. (Vol. 1 y 2). Mexico.: McGraw.Hill.
- Idrovo, I. J. (2009.). *Ensayos no destructivos Líquidos Penetrantes*. Universidad Técnica de Ambato. , Ambato.
- INDURA. (2007.). *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. (Primera ed.). Ecuador.
- INEN 1623. (2009.). *Aceros. Perfiles estructurales conformados en frio. Requisitos e Inspección* (Primera ed.). Ecuador.
- Kalpakjian, S. &. (2002.). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (4ta ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Mangonon, P. (2001.). *Ciencia de materiales selección y diseño* (Primera ed.). Mexico: Prentice Hall.
- McCormac. (1991). *Diseño de estructuras de acero método LRFD* (Primera ed.). México: Almaomega.
- Merrit, R. B. (1997). *Manual de estructuras de acero* (2da ed.). Colombia: McGraw.Hill.

- Minillo, C. O. (2007.). *Curso de Inspector de Soldadura AWS QC1. Primera ed.* Chile.
- Mosquera, A. (2011.). *Análisis de la zona afectada por el calor en aceros hipoeutectoides.* Escuela Politécnica Nacional, Tesis Ingeniería Mecánica., Quito.
- Negrete, J. P. (2005). *Apuntes de física general.* Universidad Nacional Autónoma de México . México: Unidad de Sevicios Editoriales.
- NORMAS ECUATORIANAS DE LA CONSTRUCCIÓN. (2011.). *Capítulo 10. Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5.0 m.* (Primera ed.). Ecuador.
- NORMAS ECUATORIANAS DE LA CONSTRUCCION. (2011.). *NEC-11. Capítulo 2. Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente.* (Primera ed.). Ecuador.
- NORMAS ECUATORIANAS DE LA CONSTRUCCIÓN. (2011.). *NEC-11. Capítulo 5. Estructuras de acero* (Primera ed.). Ecuador.
- Shackelford, J. F. (1995.). *Ciencia de los materiales para ingenieros.* (3era ed.). Mexico.: Prentice Hall Hispanoamericana.
- SISTENDCA. (2010). *Manual de Inspeccion Visual I y II* (Primera ed.).
- Solá, P. M. (1992). *Soldadura: Clases y Aplicaciones.* Barcelona: Productiva.
- Svoboda, L. V. (2004.). *Introducción a la metalurgia de la soldadura.* (Primera ed. ed.). Apuntes de cátedra.
- Vinnakota, S. &. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD.* México: McGraw.Hill Interamericana.
- WEI-WEN YU, P. P. (2000). *Cold-Formed Steel Design* (3era ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Direcciones webs

- Addleson, L. (2001). *Materiales para la construcción* (2da ed.). (J. C. Bueno, Trad.) Barcelona: Reverté. Obtenido de http://books.google.com.ec/books?id=gPsElo-1DIMC&pg=PA113&dq=que+es+ductilidad&hl=en&sa=X&ei=_JgoUvjHNqmqsOTp9YCICA&ved=0CEMQ6AEwAw#v=onepage&q=que%20es%20ductilidad&f=false
- Gómez, I. N. (2011). *Construcciones Metálicas.* Obtenido de http://cmetalicas.tripod.com/sitebuildercontent/Ch_pl_1.pdf

- La web del ingeniero civil. (2012.). *CIVILGEEKS.COM*. Obtenido de <http://civilgeeks.com/2012/04/10/perfiles-de-acero-conformado-en-frio/>.
- TATA STEEL CONSTRUCTION. (2013). *TATA*. Obtenido de http://www.tatasteelconstruction.com/en/reference/teaching_resources/architectural_studio_reference/technology/cold_formed_steel/manufacturing_processes/
- Vargas, Y. G. (2009). *Proceso de conformado blogspot* . Obtenido de <http://procesosmanufacturau.blogspot.com/>

ANEXO A
CERTIFICADOS DE CALIDAD.

ANEXO B

PLANO PROBETA ENSAYO DE TENSIÓN

CALIFICACIÓN DEL MATERIAL

ANEXO C

ANÁLISIS QUÍMICO POR ESPECTRÓMETRO DE

CHISPA.

ANEXO D

HOJA DE PROCESOS RÉPLICAS.

ANEXO E

PLANOS REPLICAS ESTRUCTURALES SECTORES

DMQ.

ANEXO F

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE

SOLDADURA

ANEXO G

PLANOS EXTRACCIÓN DE PROBETAS EN RÉPLICAS

ANEXO H

CÁLCULOS COSTOS DE SOLDADURA.