

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

“ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA FCAW Y SMAW EN ACERO ASTM A588 GRADO A Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS METÁLICAS EN PUENTES COLGANTES.”

Trabajo de investigación

Previo a la obtención del Título De Ingeniero Mecánico

Autor: Jaime Ricardo Sailema Chuquiana

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

Junio-2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigativo “**Estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado A y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes**”, elaborado por el Señor Jaime Ricardo Sailema Chuquiana, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Junio de 2014

Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas
TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORÍA DE LA TESIS

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: **“ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA FCAW Y SMAW EN ACERO ASTM A588 GRADO A Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS METÁLICAS EN PUENTES COLGANTES ”** nos corresponde exclusivamente a Jaime Ricardo Sailema Chuquiana y al Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas Tutor del Trabajo de Investigación; el Patrimonio Intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Jaime Ricardo Sailema Chuquiana

DEDICATORIA

A mis amados padres José Antonio y María Rosa quienes fueron mis pilares para salir en adelante, a pesar de las dificultades que se presentaron en la vida, también quienes me formaron como una persona sencilla y humilde ante la sociedad.

A mis hermanos Fabián, David y Jennifer quienes me ayudaron en todo momento y estuvieron junto a mí apoyándome moralmente en toda adversidad que se presentó en la vida.

A toda mi familia quienes me brindaron su apoyo y sabiduría para poder seguir creciendo cada vez más en mi vida profesional.

A mi hermano Wilson quien desde el cielo me cuida y guía por el camino de la sabiduría.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud y vida para poder llegar a obtener este logro y quien me ayudo a tener paciencia y fortaleza para poder cumplir mis metas anheladas.

A mis amigos de la Infancia y de la Universidad quienes me brindaron su amistad y consejos para seguir adelante.

A los Ingenieros de la Universidad quienes compartieron experiencias y conocimientos que enriquecieron mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

TÍTULO.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA TESIS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN EJECUTIVO	XIII

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Tema de Investigación.....	1
1.2.-Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización del problema	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis	2
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Preguntas directrices.....	3
1.2.6 Delimitación del problema	3
1.2.6.1 Delimitación de contenido.....	3
1.2.6.2 Delimitación Espacial.....	4
1.2.6.3. Delimitación Temporal.....	4
1.3Justificación.....	4
1.4Objetivos.....	5
1.4.1General.....	5
1.4.2Específicos.....	5

CAPÍTULO II

2.- MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes investigativos	6
2.2. Fundamentación filosófica	6
2.3. Fundamentación legal.....	7
2.4. Red de categorías fundamentales	7
2.4.1. Ingeniería en Materiales	8

2.4.2. Origen y Evolución de la soldadura	8
2.4.2.1 Posiciones de soldadura.....	10
2.4.4.2 Tipos de juntas.....	11
2.4.3. Clasificación de los procesos de soldadura	13
2.4.3.1 Soldadura "SMAW"	14
2.4.3.2 Soldadura "FCAW"	16
2.4.3.3. Electrodo metálicos.....	20
2.4.3.4. Alambres o electrodos Tubulares	22
2.4.3.5. Metalurgia de la soldadura	23
2.4.3.6. Discontinuidades en la soldadura	25
2.4.4. Resistencia de Materiales	25
2.4.5. Propiedades Mecánicas.....	26
2.4.5.1 Ensayo de Impacto.....	26
2.4.5.2 Ensayo de Tracción	29
2.4.5.3 Ensayo de Dobleza	34
2.4.5.4 Ensayo Metalográfico.....	34
2.4.6. Norma AWS	38
2.4.6.1. Código para soldadura de puentes ANSI/ASHTO/AWS D1.5	38
2.4.6.2. Aceros Estructurales	39
2.5. Hipótesis.....	42
2.6. Señalamiento de variables	42
2.6.1. Terminología.....	42

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.....	43
3.1. Enfoque de la investigación.....	43
3.2. Modalidad básica de la investigación.....	43
3.2.1. Investigación de campo	43
3.2.2. Investigación bibliográfica	44
3.3. Nivel o tipo de investigación	44
3.3.1. Exploratorio	44
3.3.2. Asociación de variables	44
3.4. Población y muestra	44
3.4.1. Población	44
3.4.2. Muestra	45

3.5. Operacionalización de variables	46
3.6. Recolección de la información	48
3.7. Procesamiento y análisis.....	48
3.7.1. Plan de Procesamiento.....	48
3.7.2. Análisis e Interpretación de resultados	48

CAPÍTULO IV

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	49
4.1.1. Proceso de obtención y análisis de resultados	49
4.2. Presentación de los resultados	51
4.2.1. Ensayo de probetas planas con el proceso FCAW del acero A588.....	52
4.2.1.1 Ensayo de probetas circulares con el proceso FCAW del acero A588	54
4.2.1.2 Ensayo de probetas planas con el proceso SMAW del acero A588	55
4.2.1.3 Ensayo de probetas circulares con el proceso SMAW del acero A588.....	57
4.2.2.1 Ensayo de Impacto de la junta soldada FCAW del acero A588.....	58
4.2.2.2 Ensayo de Impacto de la junta soldada SMAW del acero A588.....	59
4.2.3.1 Ensayo de Dobleza de la junta soldada FCAW del acero A588	60
4.2.3.2 Ensayo de Dobleza de la junta soldada SMAW del acero A588	63
4.2.4. Análisis del Acero ASTM A588 grado A como viene de fabrica	66
4.2.4.2 Análisis metalográfico de las junta soldadas de Acero ASTM A 588 con el proceso FCAW	69
4.2.4.3 Análisis metalográfico de las junta soldadas de Acero ASTM A 588 con el proceso SMAW	81
4.2.5.1 Análisis Macrográfico de las junta soldadas a filete del Acero ASTM A 588 con el proceso FCAW.....	93
4.2.5.2 Análisis Macrográfico de las junta soldadas a filete del Acero ASTM A 588 con el proceso SMAW.....	97
4.3. Interpretación de los resultados	105
4.3.1 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción de la probeta plana en la junta soldada.	105
4.3.2 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción de la probeta circular en el cordón de soldadura.	106
4.3.3 Interpretación de los resultados del ensayo de dobleza guiado.....	109
4.3.4 Interpretación de los resultados del ensayo de Impacto.	111
4.3.5 Interpretación de los resultados del ensayo Metalográfico.	112
4.3.6 Interpretación de los resultados del ensayo Macrográfico.	117
4.3.7 Fichas de recolección de datos de cada uno de los ensayos destructivos.....	122
4.4.-Verificación de la hipótesis	127

CAPÍTULO V

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
5.1Conclusiones.....	129
5.2. Recomendaciones	130

CAPÍTULO VI

6.-PROPUESTA.....	132
6.1.-Datos Informativos.....	132
6.2.-Antecedentes de la propuesta	132
6.3.-Justificación.....	133
6.4.-Objetivos	133
6.4.1General.....	133
6.4.2Especificos.....	134
6.5.-Análisis de factibilidad.....	134
6.6.-Fundamentación	134
6.7.-Metodología	135
6.7.1.- Obtención y corte del material	137
6.7.2.- Preparación de la junta	140
6.7.3.- Proceso de soldadura a tope	143
6.7.4.- Proceso de soldadura a filete.....	146
6.7.5.- Ensayo de tracción	149
6.7.6.- Ensayo de impacto	152
6.7.7.- Ensayo de doblez.....	156
6.7.8.- Análisis metalográfico	159
6.7.9.-Análisis Macrográfico.....	163
6.8.- Administración.....	165
6.9.- Prevención de la Evaluación	172
7.-Bibliografía	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1	Posición de soldadura en placa de soldadura de ranura	10
Figura 2. 2	Posición de soldadura en placas de soldadura de filete	10
Figura 2. 3	Junta a Tope	11
Figura 2. 4	Junta en T	11
Figura 2. 5	Soldadura de Ranura	12
Figura 2. 6	Soldadura de Filete	12
Figura 2. 7	Partes de la Junta a Tope	13
Figura 2. 8	Esquema del proceso de soldadura por arco eléctrico	14
Figura 2. 9	Equipo de soldadura SMAW	15
Figura 2. 10	Proceso con alambre tubular auto protegido.....	17
Figura 2. 11	Proceso con alambre tubular con protección gaseosa.....	17
Figura 2. 12	Esquema del Circuito de soldadura.....	19
Figura 2. 13	Designación de los electrodos.....	21
Figura 2. 14	Sección Transversal del alambre tubular	22
Figura 2. 15	Diagrama de clasificación de los alambres tubulares FCAW	22
Figura 2. 16	Representación de la zona afectada por el calor	24
Figura 2. 17	Esquema del ensayo de Impacto	27
Figura 2. 18	Maquina de ensayo de Tracción.....	29
Figura 2. 19	Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación).....	30
Figura 2. 20	Dimensiones, formas y tipo de Mecanizado de las probetas para el ensayo de tracción.....	31
Figura 2. 21	Ejemplo de ensayo de doblez	34
Figura 2. 22	Morfología de la Ferrita de Widmanstaetten primarias y secundarias.....	36
Figura 4.1	Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW	106
Figura 4.2	Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.	107
Figura 4.3	Comparación de Límite de fluencia (Sy) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.....	108
Figura 4.4	Comparación de Porcentaje de Elongación del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.	108
Figura 4.5	Comparación de los procesos FCAW y SMAW del ensayo dobles guiad del acero A588 con soldadura a Tope	110
Figura 4.6	Comparación de la energía de impacto entre el proceso FCAW y SMAW.....	112
Figura 4.7	Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base.....	114
Figura 4.8	Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la zona térmicamente afectada (ZAT).....	114
Figura 4.9	Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura..	115

Figura 4.10 Comparación de porcentaje de perlita en el metal base con el proceso FCAW y SMAW	115
Figura 4.11 Comparación de porcentaje de perlita en la zona térmicamente afectada (ZAT), con el proceso FCAW y SMAW	116
Figura 4.12 Comparación de porcentaje de ferrita alotromorfica en el pozo de soldadura con el proceso FCAW y SMAW	116
Figura 4.13 Comparación de porcentaje de ferrita acicular en el pozo de soldadura con el proceso FCAW y SMAW	117
Figura 4.14 Comparación de soldadura a filete por macrografía con el proceso FCAW y SMAW	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Clasificación de electrodos revestidos	20
Tabla 2. 2 Composición química acero A 588	41
Tabla 2. 3 Propiedades Mecánicas Acero A588	41
Tabla 4. 1 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO ₂	105
Tabla 4. 2 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E7018 (acabado)	105
Tabla 4. 3 Resultados de los ensayos de tracción de la probeta circular de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO ₂	106
Tabla 4. 4 Resultados de los ensayos de tracción de la probeta circular de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E7018 (acabado)	107
Tabla 4. 5 Resultados de los ensayos de doblez laterales de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO ₂	109
Tabla 4. 6 Resultados de los ensayos de dobles lateral de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado)	109
Tabla 4. 7 Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero ASTM 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂	111

Tabla 4. 8 Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero ASTM 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado).	111
Tabla 4. 9 Resultados tamaño de grano de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂	112
Tabla 4. 10 Resultados tamaño de grano de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado).	112
Tabla 4. 11 Resultados del porcentaje de Perlita de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂ , en la ZAT y en el metal base.....	113
Tabla 4. 12 Resultados del porcentaje de Perlita de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), en la ZAT y en el metal base.....	113
Tabla 4. 13 Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂ , en el depósito de soldadura	113
Tabla 4. 14 Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), en el depósito de soldadura	113
Tabla 4. 15 Resultados de los ensayos macrográficos de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO ₂	117
Tabla 4. 16 Resultados de los ensayos macrográficos de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con aporte de material E 6010 y E 7018	119
Tabla 6. 1 Desglose de gastos invertidos.....	171

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Jaime Ricardo Sailema Chuquiana

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se realiza el estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW con material de aporte E81 T1- Ni1, gas de aporte CO₂ y combinación de electrodo E6010 y E7018 respectivamente en juntas soldadas de Acero ASTM A 588 en la fabricación de vigas metálicas. El objetivo de este estudio es determinar las propiedades mecánicas y defectos de las juntas soldadas con cada uno de los procesos de soldadura establecidos para poder comparar y llegar a obtener el mejor proceso de soldadura.

Este trabajo se realizó primeramente obteniendo las probetas bajo la Norma AWS D1.5, la cual nos indica las dimensiones de cada una de las juntas de Acero ASTM A 588 grado A, para luego proceder a realizar cada uno de los procesos de soldadura con diferente material de aporte respectivamente.

Los ensayos realizados fueron de tracción, impacto, doblez guiado, análisis metalografía y análisis macrografía los cuales se realizaron una parte en los laboratorios de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional y la otra parte en los laboratorios de la Facultad de Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Realizado los ensayos destructivos y comparados cada una de las propiedades mecánicas obtenidas se llegó a determinar el mejor proceso de soldadura, el cual fue el proceso FCAW con material de aporte E81T1-Ni1, gas protector CO₂.

Se desarrolló un procedimiento de fabricación y de soldadura con el proceso FCAW con material de aporte E81T1-Ni1 con gas protector CO₂, el cual se respalda con los WPS (especificaciones del procedimiento de soldadura) y PQR (registro de calificación del procedimiento de soldadura) realizados.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de Investigación

ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA FCAW Y SMAW EN ACERO ASTM A588 GRADO A Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS METÁLICAS EN PUENTES COLGANTES.

1.2.-Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización del problema

A nivel mundial los Ingleses y Españoles son los que más se destacan en la construcción de los puentes metálicos colgantes en el campo de las construcciones mecánicas ya que sus empresas se encuentra a par con la tecnología , sus equipos y maquinarias dan facilidad para que se pueda realizar distintos procesos de soldadura y garanticen la calidad del producto.

El principal objetivo al fabricar estructuras soldadas para puentes es que tengan suficiente resistencia y rigidez, que sean económicas y que puedan montarse de manera práctica, ya que la función principal de un puente es la de soportar cargas a las que este sujetas, deformaciones y vibraciones que puedan afectar la integridad del puente. De esta manera la soldadura es un punto muy importante ya que depende de qué tipo de proceso de soldadura se esté aplicando en la construcción de las vigas metálicas que constituyen la estructura del puente.

En nuestro país existes varias empresas que se dedican a la fabricación de vigas metálicas de puentes colgantes ya que estos poseen los equipos y mano de obra

calificada, pero la mayoría de empresas no posee de estos equipos por los altos costos que intervienen dicho procesos de fabricación .

En la amazonia se está aplicando los distintos tipos de soldadura que se utilizan para la fabricación de las vigas metálicas, pero existe un desconocimiento de la aplicación de las normas que establecen el estándar y control de calidad de la soldadura, así como también ensayos que se debe aplicar para garantizar el proceso de soldadura adecuado.

1.2.2 Análisis crítico

El propósito fundamental de la fabricación del puente de estructuras metálicas soldadas es lograr una estructura económica y segura, que cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos. Pero existe claro desconocimientos de las normas técnicas para que el proceso de soldadura sea llevado de manera eficiente sin problemas a largo plazo, con los puentes estructurales, el problema radica en el desconocimiento de los distintos procedimientos aplicados en el campo de la soldadura.

Los procesos de soldadura para vigas de puentes estructurales todavía tienen deficiencias, en cada etapa de fabricación de las mismas, desde el uso inadecuado de los materiales y de los recursos humanos, por consiguiente es importante analizar el proceso de soldadura que nos proporcione una mayor seguridad.

1.2.3 Prognosis

Si no se realiza el presente estudio no se podrá determinar e identificar el tipo de soldadura que puede brindar mayor confiabilidad en las uniones soldadas en las vigas de puentes estructurales, no se conocerán las propiedades mecánicas que pueden influir en brindar calidad, las soldaduras todavía tendrán malas características, puesto que no se identificará los procesos que influyen en la soldadura, con graves errores en el producto final, con estructuras susceptibles a problemas de calidad, deficiencias, en cada etapa de fabricación de las mismas, causándose un uso inadecuado de los materiales, lo cual provocar corrosión y deterioro de la soldadura.

1.2.4 Formulación del problema.

¿El estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 GRADO A determinará la incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes?

1.2.5 Preguntas directrices

- ¿Cuáles son los parámetros que intervienen en los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado A?
- ¿Qué tipo de probetas y bajo qué norma se realiza los ensayos?
- ¿Cómo se determinaría las propiedades mecánicas en juntas soldadas de acero ASTM A588 grado A?
- ¿Qué tipo de defectos ocurre en las juntas soldadas de acero ASTM A 588 con los procesos FCAW y SMAW?
- ¿Cuál es la variación de la estructura metalográfica de las juntas soldadas de los aceros ASTM A588 grado A?
- ¿Qué proceso de soldadura es el más recomendable realizar para la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 Delimitación de contenido

Aspecto: Procesos de manufactura

Área: Soldadura

Campo: Ingeniería Mecánica

1.2.6.2 Delimitación Espacial

El estudio de la soldadura en los procesos FCAW y SMAW en acero ASTM A588 GRADO A y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes se realizara en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi y otra parte en los laboratorios Esfuerzo de Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

1.2.6.3. Delimitación Temporal

El estudio se delimito temporalmente a Junio 2013 a Junio del 2014

1.3 Justificación

En términos generales, todos los trabajos de soldadura necesitan de uno o más procedimientos de soldadura, los cuales deben definir con suficiente detalle cómo se realizarán las soldaduras involucradas, por ello es de importancia la investigación para determinar y justificar cuál de los procedimientos es el mejor y brinda calidad, logrando brindar mayor confiabilidad en las uniones soldadas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes. Esta investigación permitirá establecer los parámetros en los procesos FCAW y SMAW, en acero ASTM A588 grado A, también el comportamiento de estos 2 procesos de soldadura para verificar cuál de estos nos otorga mejores propiedades mecánicas y determinar cuál de los procesos es el más confiable.

La información que se obtenga será de ayuda al personal técnico y personas involucradas que interviene en la fabricación de puentes metálicos colgantes y dará resultados confiables de lo que ocurre con cada uno de los procesos de soldadura.

Es un estudio factible de realizarlo porque se cuenta con la información y herramientas técnicas para el desarrollo de la investigación.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Estudiar la incidencia de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado A en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes.

1.4.2 Específicos.

- Definir los parámetros que intervienen en los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado A.
- Determinar el proceso de obtención de probetas requeridas para los ensayos bajo la norma AWS D1.5
- Determinar las propiedades mecánicas de Tracción e Impacto de las juntas soldadas mediante el proceso de soldadura FCAW y SMAW del acero A588 con aporte de gas CO₂, alambre E81T1 Ni 1 y combinación de electrodo E-6011 y E-7018 respectivamente.
- Determinar los defectos de las juntas soldadas del acero A588 grado A mediante los ensayos de doblado guiado y ensayo macrográfico para los procesos FCAW y SMAW bajo la norma D1.5
- Realizar los ensayos metalográficos a las juntas soldadas del acero A588 bajo los procesos FCAW y SMAW.
- Evaluar los problemas que ocurren en las juntas soldadas de Acero ASTM A588 mediante los procesos FCAW y SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas.

CAPÍTULO II

2.- MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Para el presente estudio se ha tomado como referencia investigaciones realizadas con anterioridad de las cuales se detallan las siguientes:

- Alejandro Francisco Santos Villacrés: Desarrollo e Implementación de un sistema de control de calidad de soldadura con el uso de ensayos no destructivos en puentes metálicos utilizando la Norma AWS D1.5, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: Quito-Ecuador 2012
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5144/1/CD-4539.pdf>

- Héctor Xavier Acosta Herrera: Procedimiento de Control e Inspección en la Fabricación de la Estructura de un Puente Soldado de acuerdo al Código AWS D1.5, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL: Guayaquil-Ecuador 2006.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13467/4/TESIS.pdf>

2.2. Fundamentación filosófica

De acuerdo al avance tecnológico, la ingeniería en materiales se ha ido desarrollando de manera sorprendente, y cada uno de los procesos que intervienen en este campo, como son los procesos de soldadura los cuales ayudará a establecer alternativas para la generación de procesos de calidad en la soldadura de vigas metálicas en puentes colgantes, evitando daños y defectos en las estructura delos puentes colgantes, así reduciendo la vida útil del mismo.

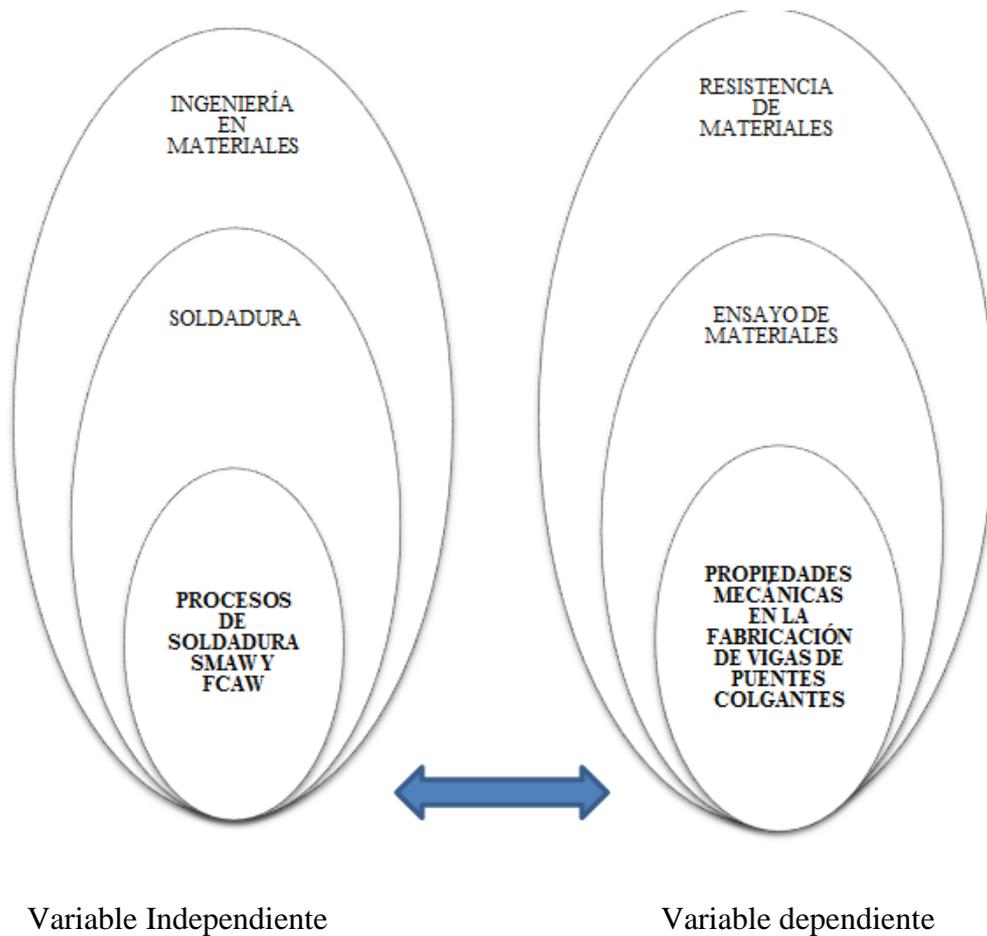
Con este tipo de estudio se hará un aporte a la investigación en el área de materiales lo que ayudara al sector industrial a evitar daños y pérdidas económicas.

2.3. Fundamentación legal

El presente trabajo se sustentará en lo enmarcado principalmente en las Normas:

- Norma AWS D1.5 (Bridge Welding Code)
- Norma ASTM A 588 (American Association State)
- Norma ASTM E 8 (American Association State)
- Norma ASTM E 3 (American Association State)

2.4. Red de categorías fundamentales



2.4.1. Ingeniería en Materiales

La ciencia de los materiales está ligada fundamentalmente a la búsqueda de conocimientos básicos sobre la estructura interna, propiedades y procesamiento de materiales. La ingeniería en materiales está principalmente relacionada con el uso de los conocimientos básicos y aplicados de los materiales para la conversión de estos materiales en productos necesarios o requeridos por la sociedad. (William, 1999)

2.4.2. Origen y Evolución de la soldadura

Resulta imposible determinar exactamente cuándo se originó la soldadura, pero sucedió hace varios miles de años. El arte de trabajar metales, incluyendo la soldadura, fue un arte en la antigua Grecia desde hace por lo menos tres mil años, pero la soldadura se había practicado, sin duda alguna, durante muchos siglos antes de aquellos días. La soldadura antigua era probablemente un proceso de forja en el que los metales eran calentados a cierta temperatura (no a la de fusión) y unidos a golpe de martillo.

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal. (Castilla y León, España 2009, pág. 6)

La American Welding Society (AWS) es una de las organizaciones que se ha preocupado por establecer normas específicas para soldadura las mismas que han sido ampliamente aceptadas a nivel mundial. Los métodos de soldadura que se utilizan actualmente son muchos y muy variados; cada uno de estos métodos ha sido caracterizado y designado por la AWS, entre los procesos de soldadura por arco eléctrico los más importantes son:

- Soldadura por arco con electrodo revestido (**SMAW**)

- Soldadura por arco y protección gaseosa (**GMAW**)
- Soldadura por arco con núcleo de fundente(**FCAW**)
- Soldadura por arco, electrodo de tungsteno y protección gaseosa (**GTAW**)
- Soldadura por arco sumergido (**SAW**)

Ventajas de la soldadura

Actualmente es posible aprovechar las grandes ventajas que la soldadura ofrece. Algunas de las muchas ventajas de la soldadura, se presentan en los párrafos siguientes:

- Para la mayoría de la gente, la primera ventaja está en el área de la economía, porque el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado.
- Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión el empalme, tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos.
- En algunas estructuras de puentes es posible ahorrar hasta un 15% o más del peso de acero con el uso de soldadura. La soldadura también requiere menos trabajo que el que se necesita para el remachado, porque un soldador puede reemplazar a la cuadrilla normal remachadora de cuatro hombres.
- Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno a otro. Las conexiones con remaches o tornillos, se realizan a menudo a través de ángulos de conexión o placas que se deforman debido a la transferencia de carga, haciendo más flexible la estructura completa.
- Por otra parte, la mayor rigidez puede ser una desventaja donde se necesiten conexiones de extremo simples, con baja resistencia a los momentos. En tal caso, el calculista debe tener cuidado de especificar el tipo de junta. (Carabali & Jonny Leicer, 2006 – 2013, pág 6-9)

2.4.2.1 Posiciones de soldadura

La AWS (Sociedad Americana de Soldadura) y otras especificaciones, distinguen las posiciones cuando se trata de soldar chapas o tuberías, tanto a tope como en ángulo como se indica a continuación.

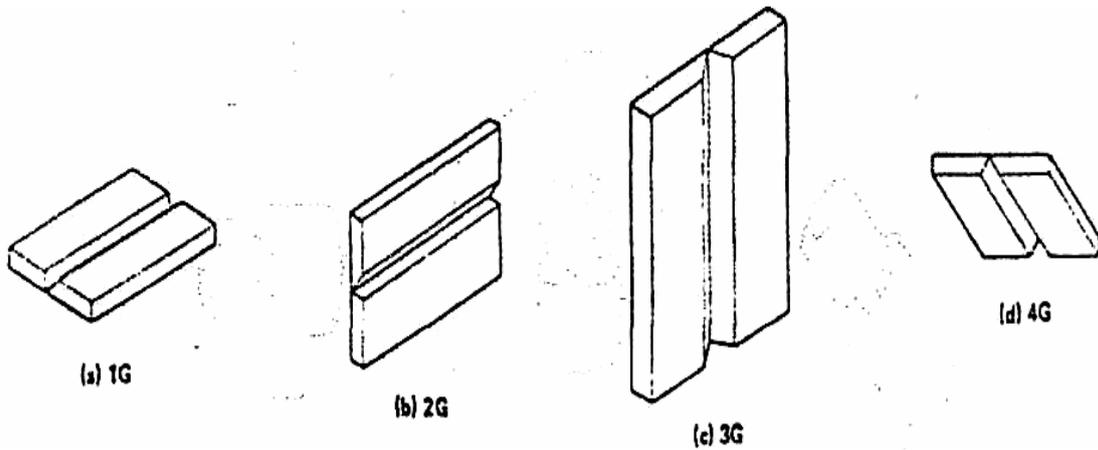


Figura 2. 1 Posición de soldadura en placa de soldadura de ranura

(Fuente: Catalogo INDURA, Pag.6)

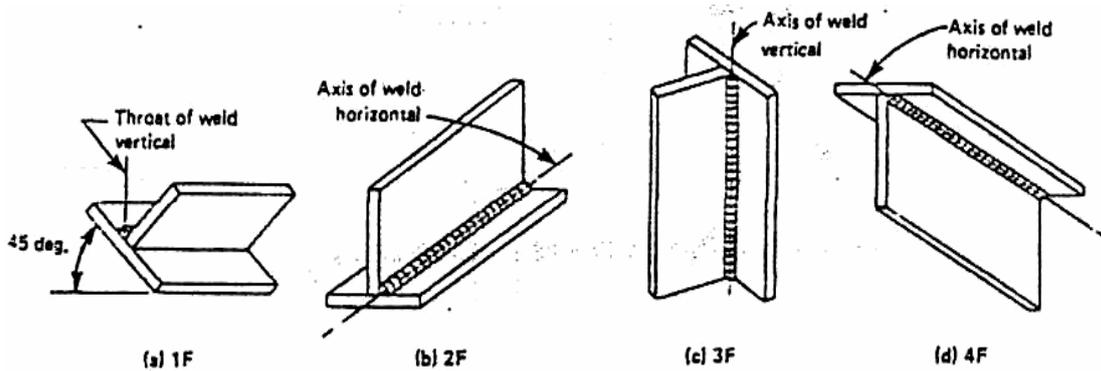


Figura 2. 2 Posición de soldadura en placas de soldadura de filete

(Fuente: Catalogo INDURA, Pag.6)

2.4.4.2 Tipos de juntas

Están formadas en esencia por dos piezas de metal solapadas o traslapadas, que se unen por fusión mediante soldadura de puntos, de filete, de tapón o de agujero alargado.

Junta A Tope.

Está comprendida entre los planos de las superficies de las dos partes. Las juntas a tope pueden ser simples, escuadradas, biseladas, en V, de ranuras de una sola J, de ranura de una sola U, o dobles.

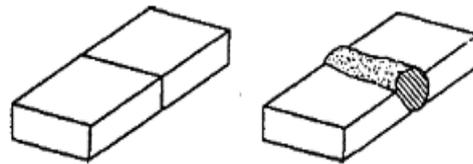


Figura 2. 3 Junta a Tope

(Fuente: Catalogo de INDURA, Pag.9)

Juntas en T

Son precisamente lo que su nombre indica, pero también pueden ser de un solo bisel, de doble bisel, de una sola J y de doble J. (Catálogo INDURA, 2001, Pag.6)

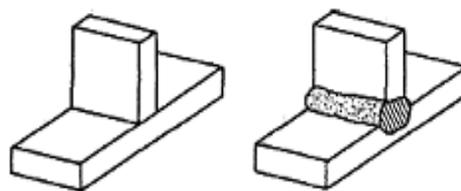


Figura 2. 4 Junta en T

(Fuente: Catalogo INDURA, Pag.9)

Las Soldaduras de Ranura.

Se realiza entre el espacio que queda entre dos piezas de metal. Estas soldaduras se emplean en muchas combinaciones dependiendo de la accesibilidad, de la economía, del diseño, y del tipo de proceso de soldadura que se aplique.

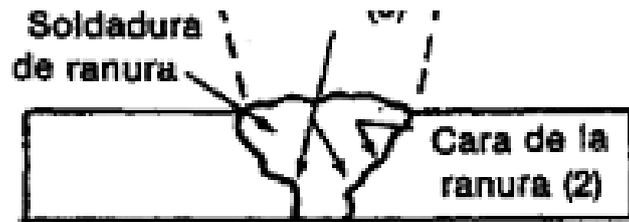


Figura 2. 5 Soldadura de Ranura

(Fuente: Cátalo INDURA, Pag.11)

Las Soldaduras de Filete.

Son similares a las de ranura, pero se hacen con mayor rapidez que éstas. Las juntas soldadas de filete son simples de preparar desde el punto de vista de preparación y ajuste de borde, aunque a veces se requieran de más soldadura que las juntas soldadas de ranura.

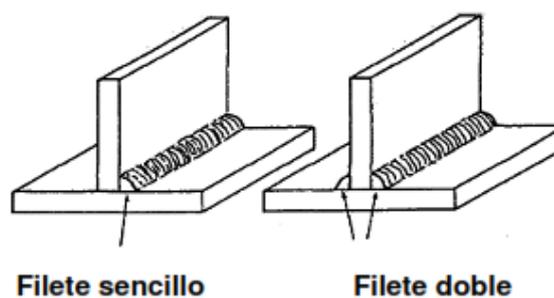


Figura 2. 6 Soldadura de Filete

(Fuente: Catalogo INDURA, Pag.11)

Partes de las juntas

Las partes o elementos de las juntas soldadas o a soldarse son relativamente numerosas, y a fin de poder interpretar y describir correctamente cualquier junta, es necesario identificar y ubicar cada una de sus partes. (Catálogo INDURA, 2001, Pag.6)

1. Abertura de la raíz
2. Cara de la raíz
3. Cara de la ranura
4. Ángulo del bisel
5. Ángulo de la ranura
6. Tamaño de la soldadura de ranura indicado en el símbolo de soldar
7. Espesor de la placa

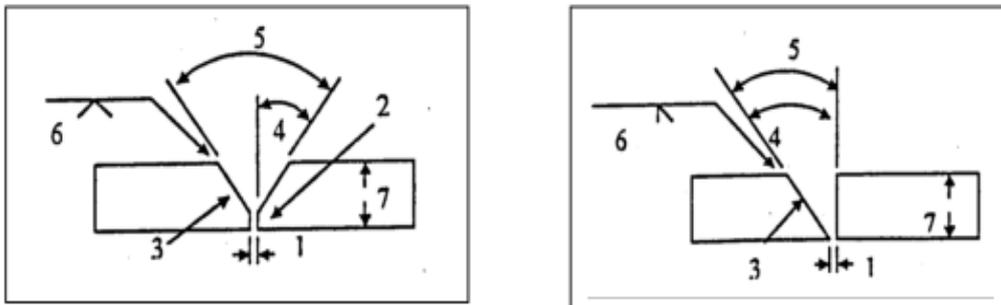


Figura 2. 7Partes de la Junta a Tope

(Fuente: Catalogo INDURA, Pag.13)

2.4.3. Clasificación de los procesos de soldadura

Son múltiples las posibilidades de aplicación de estos procesos de soldadura. Su campo de aplicación depende, entre otras cosas, del material a soldar, de su espesor, de los requisitos que debe satisfacer la costura, y de la construcción.

2.4.3.1 Soldadura "SMAW"

Es el proceso de soldadura eléctrica con electrodo revestido se caracteriza, por la formación y mantenimiento de un arco eléctrico entre una varilla metálica llamada electrodo, y la pieza a soldar. El electrodo recubierto está constituido por una varilla metálica a la que se le da el nombre de alma o núcleo, la cual se recubre de sustancias no metálicas. Su composición química puede ser muy variada, según las características que se requieran en el uso. El revestimiento puede ser básico, rutílico y celulósico.

Para realizar una soldadura por arco eléctrico se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito. El calor del arco funde parcialmente el material base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura. (Universidad Rafael Landívar, Pág.2-4)

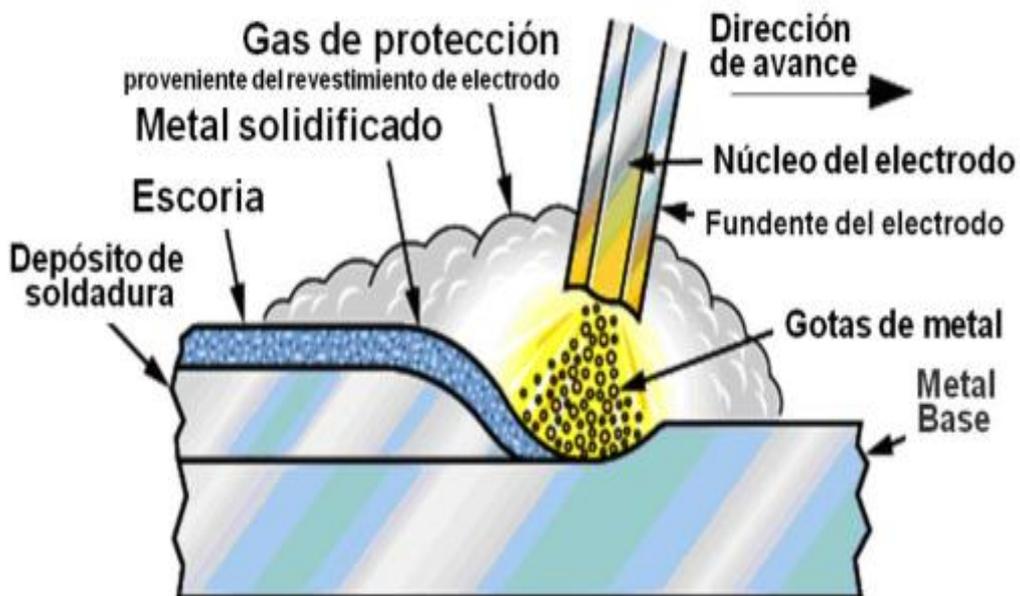


Figura 2. 8 Esquema del proceso de soldadura por arco eléctrico SMAW

(Fuente: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_MEC01.pdf)

Dentro del campo de la soldadura industrial, la soldadura eléctrica manual al arco con electrodo revestido es la más utilizada. Para ello se emplean máquinas eléctricas de soldadura que básicamente consisten en transformadores que permiten modificar la corriente de la red de distribución, en una corriente tanto alterna como continua de tensión más baja, ajustando la intensidad necesaria según las características del trabajo a efectuar. (J.T Pino, Pág. 1-2)

- | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|-------------------------|
| A. | Interruptor | H. | Cable del electrodo |
| B. | Toma de corriente | I. | Porta-electrodo |
| C. | Enchufe | J. | Electrodo |
| D. | Bobinado Primario | K. | Pieza |
| E. | Bobinado secundario | L. | Borne de conexión |
| F. | Bobinado impedancia | M. | Cable de toma de tierra |
| G. | Conector aislante | N. | Pinza de tierra |

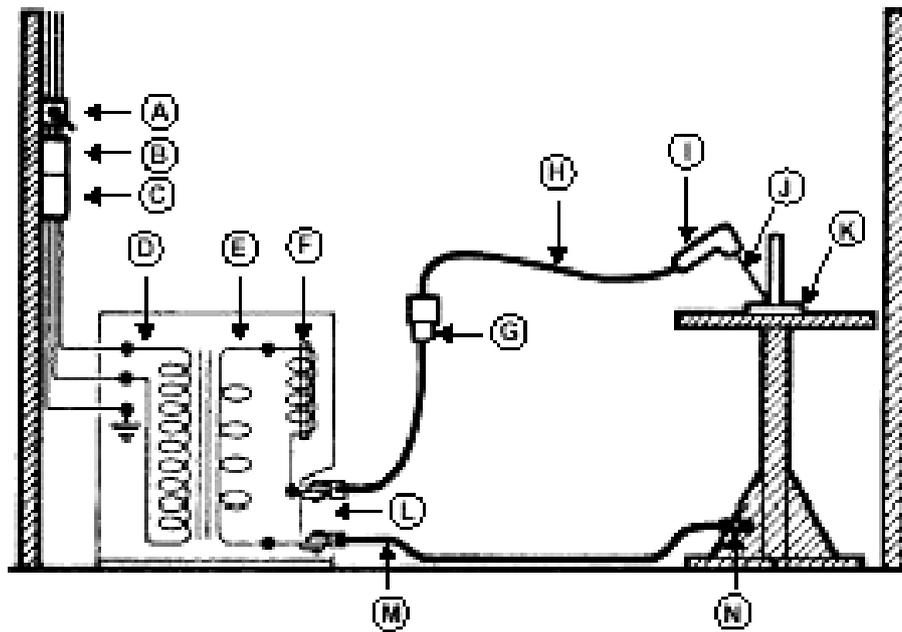


Figura 2. 9 Equipo de soldadura SMAW

(Fuente: Universidad Austral de Chile, Pág. 2)

Ventajas

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión. Luego al convertirse en fundente, protege el área de la soldadura contra la oxidación y la contaminación por medio de la producción CO₂ durante el proceso de la soldadura.
- El núcleo en sí mismo del electrodo actúa como material de relleno, haciendo innecesario un material de relleno adicional.
- Con el calor del arco, el extremo del electrodo funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
(Universidad Austral de Chile, Pág. 2)

2.4.3.2 Soldadura "FCAW"

En el proceso de soldeo por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional.

La técnica de soldeo con hilo tubular se diferencia del soldeo MIG/MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria; podríamos decir que es como un electrodo revestido al revés. En el resto hay bastantes similitudes con el proceso MIG/MAG.
(Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A, pag.2, 3, 4,5)

Auto protegido (self-shielded) que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente.

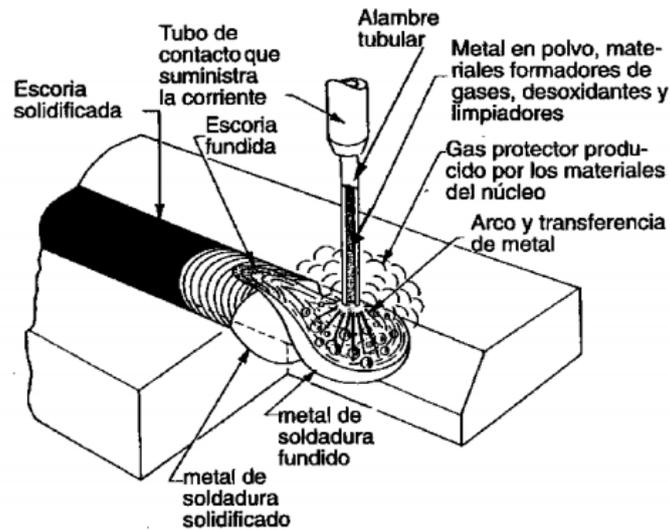


Figura 2. 10 Proceso con alambre tubular auto protegido

(Fuente: <http://solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>)

Con protección de gas (gas-shielded), que suele ser CO₂ o mezclas de CO₂

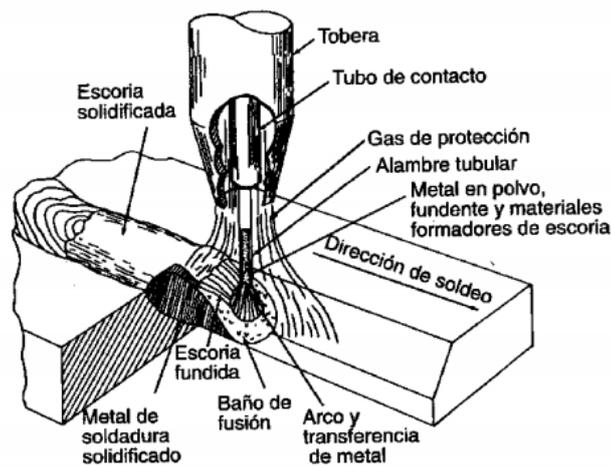


Figura 2. 11 Proceso con alambre tubular con protección gaseosa

(Fuente: <http://solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>)

Características del proceso

Con la “protección exterior de gas”, las ventajas del proceso son:

- Soldaduras suaves y sanas.
- Penetración profunda.
- Buenas propiedades para radiografía.

Sin la protección exterior del gas ofrece las siguientes ventajas:

- Eliminación del gas externo de protección.
- Penetración moderada.
- Posibilidad de soldar en corriente de aire.
- Metal depositado de alta calidad.

Equipo

Los principales elementos del equipo requerido para el proceso son:

- La máquina de soldar (fuente de poder).
- Se emplea una pistola y cables para conducir el alambre, el gas (cuando es necesario) y la corriente de la fuente de poder al arco.
- El Alimentador de Alambre.- El alimentador lleva el alambre tubular automáticamente desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. La velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de corriente de soldar que se suministra al arco. De esta manera, el control de velocidad de alimentación es, esencialmente, el ajuste de la corriente de soldar.
- El Gas de Protección.- El gas protector desaloja el aire alrededor del arco, previniendo la contaminación por oxígeno e hidrógeno de la atmósfera. (**Manual de Soldadura, Oerlikon, 1999, Pag.30**)

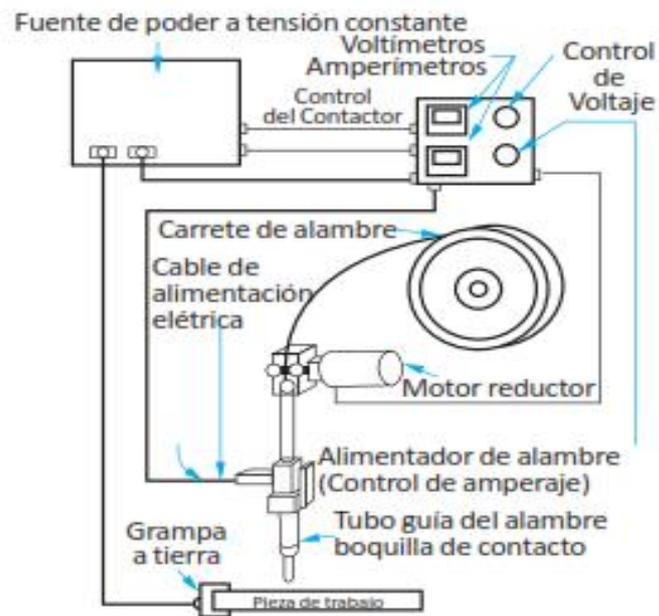


Figura 2. 12 Esquema del Circuito de soldadura FCAW

(Fuente: Manual de soldadura OERLIKON)

Ventajas del proceso FCAW

- Alta calidad del metal depositado
- Excelente apariencia del cordón, soldadura suave y uniforme
- Excelente entorno de los cordones de filetes horizontales
- Se puede soldar una variedad de aceros con un amplio rango de espesores
- Factor de alta operatividad
- Fácil mecanizado
- Alta tasa de deposición
- Economía en los diseños ingenieriles de juntas
- Arco visible fácil de usar

- La limpieza previa es mucho menor que la que se requiere para la soldadura por arco de metal con protección gaseosa (GMAW)
- Distorsión reducida comparada con la soldadura SMAW

2.4.3.3. Electrodo metálicos

“Constituyen un factor de gran importancia para obtener buenos resultados en la soldadura. Están compuestos de un núcleo metálico y un revestimiento químico”. (Manual de Soldadura, Oerlikon, 1999)

El Núcleo es una varilla metálica con una definida composición química para cada metal a que está destinado el electrodo. Los diversos elementos componentes del núcleo, como el hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre y otros, proporcionan diferentes propiedades y características a la junta soldada.

El núcleo metálico constituye la base del material de aporte, que es transferido a la pieza en forma de gotas, impulsado por la fuerza electromagnética del arco eléctrico.

“El Revestimiento, que se aplica en torno del núcleo metálico, es un compuesto de composición química definida para cada tipo de electrodo.” (Manual de Soldadura, Oerlikon, 1999)

Tabla 2. 1 Clasificación de electrodos revestidos

Electrodos para acero al carbono	AWS-A.5.1
Electrodos para aceros de baja aleación	AWS-A.5.5
Electrodos para aceros inoxidable	AWS-A.5.4

Fuente: “manual de soldadura” AWS.

Selección del electrodo adecuado

“Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones. Este análisis es relativamente simple, si el operador se habitúa a considerar los siguientes factores:” (Catalogo de Indura, 2001, Pag.16)

1. Naturaleza del metal base.
2. Dimensiones de la sección a soldar.
3. Tipo de corriente que entrega su máquina soldadora.
4. En qué posición o posiciones se soldará.
5. Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza.
6. Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.
7. Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

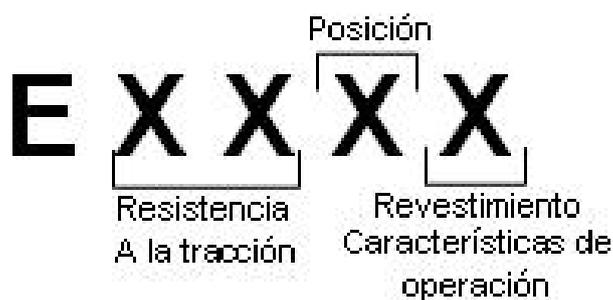


Figura 2. 13 Diagrama de clasificación de los electrodos (Proceso SMAW)

(Fuente:<http://www.edu.xunta.es/centros/iescoroso/gl/system/files/Manual+de+Soldadura+Oerlicon.pdf>)

2.4.3.4. Alambres o electrodos Tubulares

Consisten en un fleje de acero de bajo carbono o baja aleación, en cuyo interior se colocan materiales aleantes y fluidificantes, que presenta ventaja, cuando se realiza una adecuada combinación de los ingredientes del núcleo, junto con el extremo, generando la producción de soldadura con adecuada velocidad de deposición. (JSPUI, TRABAJO DE GRADO.pdf, pág. 9.)

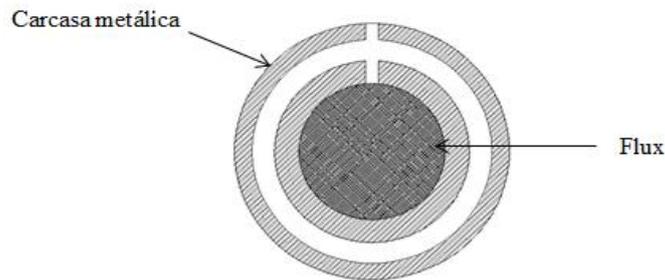


Figura 2. 14 Sección Transversal del alambre tubular (Proceso FCAW)

(Fuente: TRABAJO%20DE%20GRAD.pdf, pág. 9)

Clasificación de los electrodos tubulares

Los electrodos para acero al carbono se clasifican según la ANSI/AWS A5.20/95 como se indica.

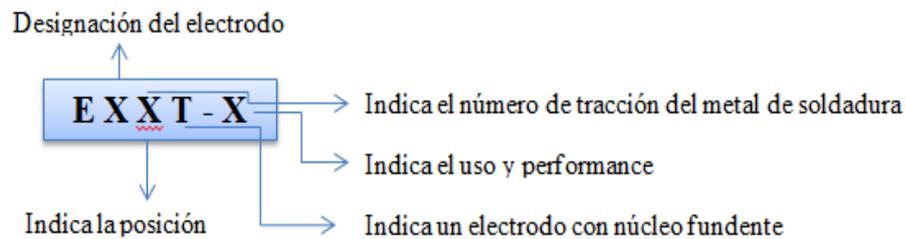


Figura 2. 15 Diagrama de clasificación de los alambres tubulares FCAW

(Fuente: Catalogo INDURA)

Alambre Tubular E81T1-Ni1

Este alambre tubular es perfecto para soldar aceros resistentes a la corrosión ambiental o ASTM A588, donde el acabado superficial es requerido. Diseñado para una alta calidad de valores de impacto a baja temperatura, tanto en la condición: como soldado o después de un alivio de tensiones. Opera con pases simples o múltiples en toda posición. Permite reducir los niveles de precalentamiento e incrementa la resistencia al agrietamiento en la zona afectada por el calor. (Catalogo Indura, 2001, pág. 20-22)

2.4.3.5. Metalurgia de la soldadura

La American Welding Society (AWS) en su publicación dice que la metalurgia de la soldadura involucra varios pasos, como: solidificación, reacción gas-metal, fenómeno de superficie, y reacciones en estado sólido que ocurren rápidamente durante el proceso.

La soldadura de una junta que está constituida por diferentes zonas las cuales son: cordón de soldadura, zona afectada por el calor (ZAC) y metal base no afectado térmicamente. (Welding Handbook, 1998)

Cordón de soldadura

Es la zona que ha sido fundida durante el proceso de soldadura, y está compuesta del material de aporte y el material base, cuando algunas soldaduras no poseen la aportación de material (electrodos consumibles), por ejemplo la soldadura bajo el proceso TIG, sin material de aporte. La composición química del cordón dependerá de la composición química del material base y aporte, también dependerá de la dilución entre estos.

Zona afectada por el calor

Es la zona del material base, que está adyacente al metal fundido, y por lo tanto, es susceptible al calor generado durante el proceso de soldadura, esta zona se puede determinar realizando un perfil de dureza.

Los fenómenos metalúrgicos que ocurren en esta zona son caracterizados por los ciclos térmicos que sufre el material, y dependen de la cantidad de calor suministrado durante el proceso de soldadura, la temperatura de material base antes de realizar la soldadura, del espesor y la geometría de la junta soldada.

Defectos ocasionados por el ciclo térmico:

- Cambios microestructurales.
- Variación en las propiedades mecánicas.
- Disminución de la resistencia a la corrosión.
- Generación de esfuerzo residual.

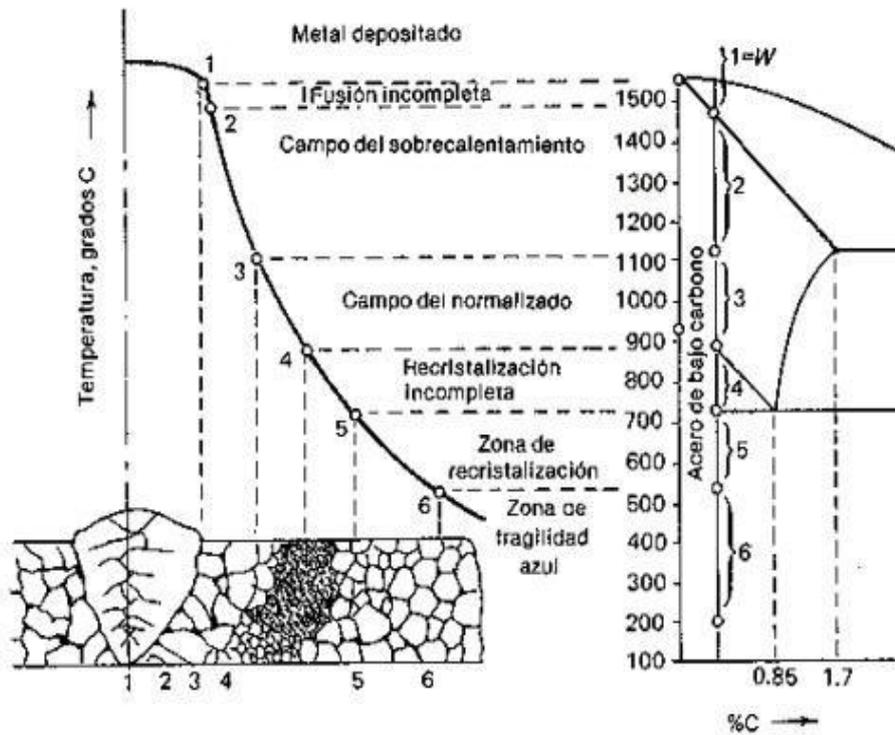


Figura 2. 16 Representación de la zona afectada por el calor

(Fuente: Welding Metallurgy”. Welding Handbook. 8va ed., vol. 1)

Metal base no afectado

Esta es la tercera zona de un proceso de unión de juntas por soldadura, y además es la zona no sufre cambio alguno en el proceso. (**Welding Handbook, 1998**)

2.4.3.6. Discontinuidades en la soldadura

Las discontinuidades son interrupciones en la estructura física de la soldadura. Se considera que las discontinuidades son defectos cuando constituye peligro para el funcionamiento idóneo de la soldadura. (**Benzo, M, Caracas, 1995.**)

Tipos de discontinuidades

- Porosidad
- Socavadura
- Solapamiento
- Falta de penetración y fusión
- Rechupes
- Fracturas en el cráter
- Exceso de penetración
- Fractura en caliente
- Inclusiones por retención de escoria, virutas o defectos presentes en el material de inicio

2.4.4. Resistencia de Materiales

La Resistencia de Materiales tiene como finalidad elaborar métodos simples de cálculo, aceptables desde el punto de vista práctico, de los elementos típicos más frecuentes de las estructuras, empleando para ello diversos procedimientos aproximados. La necesidad de obtener resultados concretos al resolver los problemas prácticos nos obliga a recurrir a hipótesis simplificadoras, que pueden ser justificadas comparando los resultados de

cálculo con los ensayos, o los obtenidos aplicando teorías más exactas, las cuales son más complicadas y por ende usualmente poco expeditivas.

Los problemas a resolver haciendo uso de esta ciencia son de dos tipos:

a) Dimensionamiento

b) Verificación

En el primer caso se trata de encontrar el material, las formas y dimensiones más adecuadas de una pieza, de manera tal que ésta pueda cumplir su cometido:

- Con seguridad
- En perfecto estado
- Con gastos adecuados

El segundo caso se presenta cuando las dimensiones ya han sido prefijadas y es necesario conocer si son las adecuadas para resistir el estado de sollicitaciones actuantes. (M. Meléndez, 2008, Pág12)

2.4.5. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para determinar el comportamiento sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto.

2.4.5.1 Ensayo de Impacto

Los ensayos dinámicos son realizados para valorar la capacidad de resistencia de los materiales metálicos a las cargas de impacto (tenacidad) y determinar su tendencia a la destrucción frágil. Entre los ensayos de esta índole los más conocidos y estandarizados

son los de impacto a flexión con muestras ranuradas. La velocidad de deformación en el caso de los ensayos dinámicos supera en varios órdenes a la velocidad de deformación en los ensayos estáticos. (Calle Trujillo, 2007, pág.1-3)

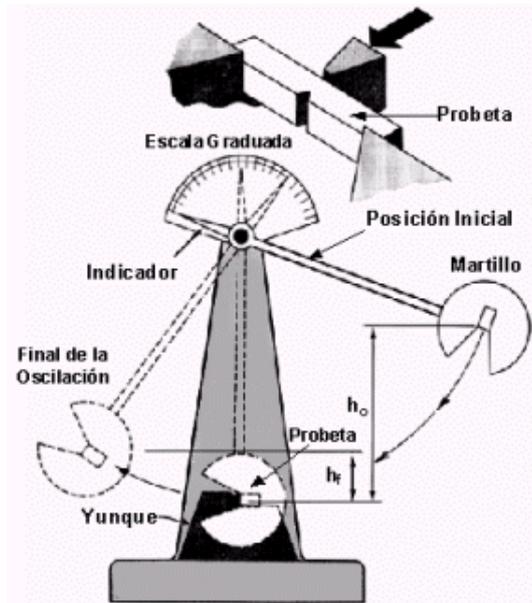


Figura 2. 17 Esquema del ensayo de Impacto

(Fuente: www.udistrital.edu.co:80/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf?version1.0)

Procedimiento

El péndulo de Charpy es un dispositivo utilizado en ensayo para determinar la tenacidad de un material. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos. El péndulo cae sobre el dorso de la probeta y la parte. La diferencia entre la altura inicial del péndulo (h) y la final tras el impacto (h') permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta.

Se mide la energía absorbida en la aérea debajo de la curva de carga, desplazamiento que se conoce como resiliencia. La velocidad que adquiere la masa al golpear la probeta queda determinada por la altura del péndulo. Tras la rotura, la masa continúa su camino hasta llegar a una cierta altura, a partir de la cual se determina la energía absorbida. Así se medirá la energía absorbida por ese golpe.

Probetas

Las probetas que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad se doblan sin romperse. Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química, esto obliga a realizar el ensayo con probetas a distinta temperatura.

La energía absorbida por la probeta (E_{abs}):- está dada en (J), se puede medir calculando la diferencia de energía del péndulo antes y después del impacto, mediante la altura a la que llega el péndulo después de romper la probeta.

$$E_{abs} = m.g.(h - h')$$

Donde:

h= altura inicial

h'= altura final

m= masa

g= gravedad

El problema de este método es que resulta muy inexacto medir la altura a la que llega la masa.

Entonces como se sabe el ángulo inicial del péndulo (α) y la máquina registra el ángulo final (β), mediante relaciones trigonométricas se llega a relacionar la energía absorbida en función de los ángulos y el largo del brazo. (Hibbeler R, 2006, pág. 856)

$$E_{abs} = m.g(\cos \beta - \cos \alpha)$$

2.4.5.2 Ensayo de Tracción

Consiste en someter una probeta a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje (axial) hasta que llegue a la deformación y/o a la rotura correspondiente.

El ensayo de tracción estática es el que mejor determina las propiedades mecánicas de los metales, ya que permite obtener, bajo un estado simple de tensión, el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática, en base a cuyos valores se fijan los de las tensiones admisibles, mediante el empleo de medios empíricos se puede conocer, el comportamiento del material sometidos a otro tipo de solicitaciones (fatiga, dureza, etc.). (W. Callister 2003, pág. 131-133)

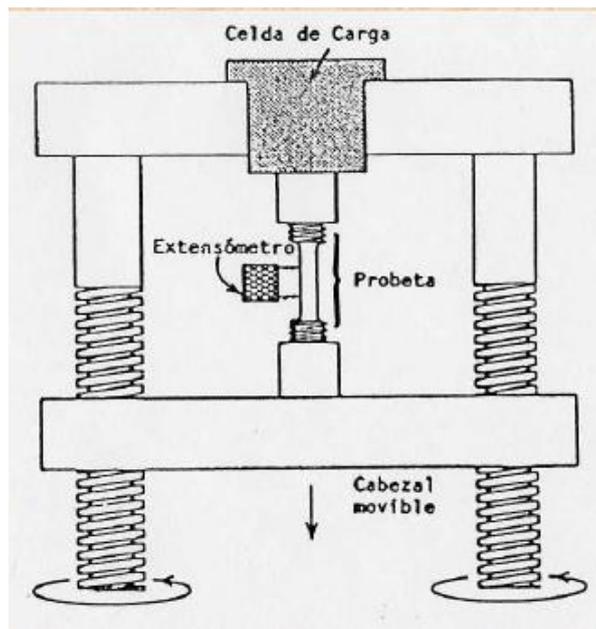


Figura 2. 18 Máquina de ensayo de Tracción

(Fuente: <http://es.scribd.com/doc/6164000/PRUEBAS-MECANICAS>)

Diagrama Esfuerzo – Deformación

El diagrama de esfuerzo es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales. En general la curva tensión- deformación así obtenida presenta 4 zonas diferenciadas.

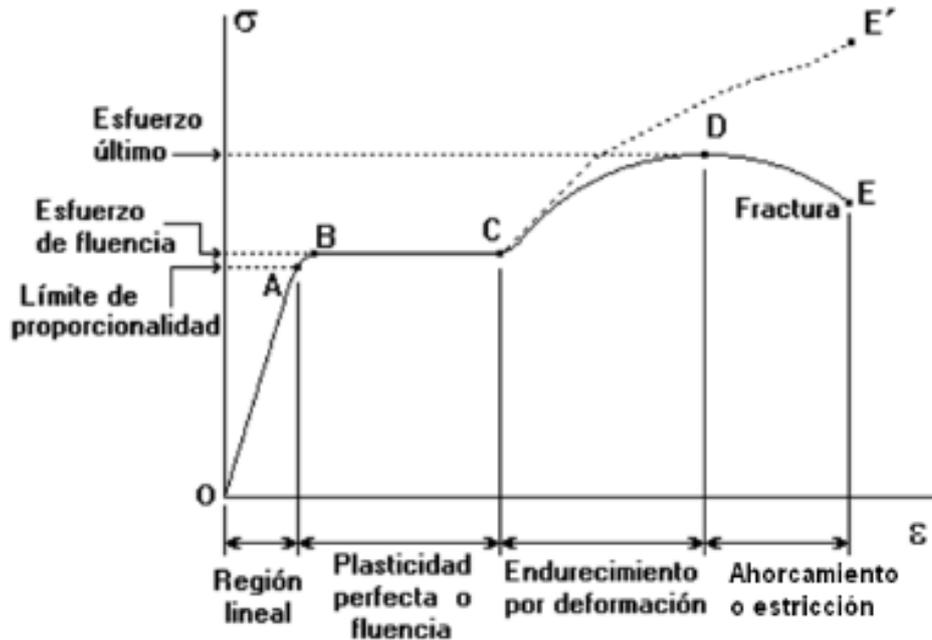


Figura 2. 19 Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación)

(Fuente: SMITH, fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales, Pág. 208)

Deformaciones Elásticas

En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retira la carga aplicada la probeta recuperaría su forma inicial.

Fluencia o Cedencia

Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada.

Deformaciones plásticas

Se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera solo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.

Ahorcamiento o Estricción

Llegado un punto de ensayo, las deformaciones se concentran en una parte de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuaran acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. (W.F. Smith 2006, Pág.208)

Probetas del ensayo

Las probetas de ensayo para materiales metálicos se obtienen, generalmente por mecanizado de una muestra del producto objeto de ensayo, o de una muestra moldeada. En el caso de tratarse de productos que tengan una sección constante (perfiles, barras.) o de barras obtenidas por moldeo, se pueden utilizar como probetas las muestras sin mecanizar. La sección de la probeta puede ser circular, cuadrada o rectangular. (W. Callister 2003, pág. 140)

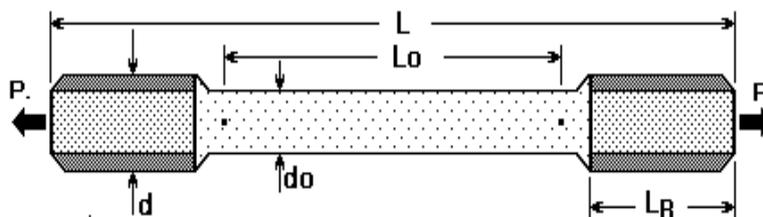


Figura 2. 20 Dimensiones, formas y tipo de Mecanizado de las probetas para el ensayo de tracción circular

(Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales.shtml>)

Propiedades mecánicas de las probetas ensayadas

Tensión de tracción (σ).- Se calcula a partir de la fuerza de tracción soportada por la probeta dividida por su sección transversal.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dónde:

σ = es el esfuerzo o tensión N/mm²

F = es la fuerza aplicada N

A = área de aplicación de la fuerza mm²

La deformación nominal (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Donde:

l_0 = es la longitud original antes de aplicar la carga.

l_i = es la longitud instantánea.

A veces, la deformación se expresa como porcentaje, esto es, el valor de la deformación multiplicado por 100.

Módulo de elasticidad

Es la relación entre la tensión realizada y la deformación adquirida en el tramo lineal de la curva tensión-deformación (región elástica). Sus unidades son MPa o N/mm²

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad N/mm²

σ = tensión de tracción N/mm²

ϵ = deformación nominal

Ductilidad

Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, %EL, es el porcentaje de deformación plástica a rotura. (**W. Callister 2003, pág. 145-147**)

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

Donde:

l_f = es la longitud en el momento de la fractura

l_0 = es la longitud de prueba original.

2.4.5.3 Ensayo de Doble

El objetivo básico del ensayo de doblado es determinar la calidad, y ductilidad de la soldadura y se realiza doblando una probeta en forma de U y luego se evalúa la superficie doblada. Este ensayo para calificar procedimiento de soldadura.

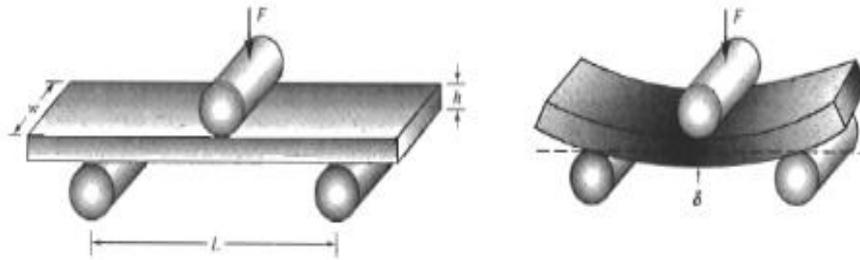


Figura 2. 21 Ejemplo de ensayo de doble

(Fuente: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/11452/1/35.pdf>)

Variables importantes en el ensayo de doblado:

- Tipo de probeta
- Número, geometría y dimensiones de la probeta
- Colocación de la muestra
- Dimensión del dispositivo del doblado

2.4.5.4 Ensayo Metalográfico

Metalografía es la rama de la ciencia relativa al estudio de la constitución y estructura de los metales y aleaciones. A través de los estudios metalográficos se establece la relación que existe entre la composición, estructura y propiedades.

Con el estudio metalográfico se puede determinar las características tales como el tamaño de un grano, La forma y distribución de las fases presentes y las inclusiones no metálicas. La micro-estructura revela el tratamiento térmico y mecánico a que se ha sido sometido del metal y, a partir de ésta, se puede predecir con precisión razonable el comportamiento esperado de las aleaciones estudiadas.

Microestructura

Al final de la soldadura, la zona fundida, de un acero de bajo carbono o de baja aleación presenta una microestructura compleja. La notación de las microestructura presenta ciertas dificultades, derivado principalmente de las observaciones morfológicas más que de los detalles de los mecanismos de transformación, que son también importantes para un trabajo cualitativo.

La ferrita alotriomórfica

La presencia de ferrita alotriomórfica puede resultar en una importante reducción en la tenacidad de las juntas soldadas de los aceros de baja aleación debido al gran tamaño de los granos de ferrita que ofrecen muy poca resistencia a la propagación de fisuras.

La ferrita acicular

Es observada en los depósitos de soldadura de aceros de baja aleación. Esta fase es de considerable importancia tecnológica ya que provee una microestructura relativamente tenaz y resistente.

El termino acicular significa que tiene la forma de una aguja, sin embargo está aceptado que la ferrita acicular tienen en tres dimensiones una morfología de delgadas placas lenticulares.

La ferrita de Widmanstaetten

La ferrita de Widmanstaetten son como dos placas mutuamente acomodadas con una pequeña diferencia en sus planos habituales, lo que da la característica morfológica de cuña de la ferrita de Widmanstaetten

La ferrita de Widmanstaetten se clasifica en: primaria cuando crece directamente desde las superficies de grano de la austenita, y ferrita de Widmanstaetten secundaria que se desarrolla desde cualquier ferrita alotriomórfica que puede estar presente en la microestructura. (ESPOCH, Tesis de Grado ,2009)

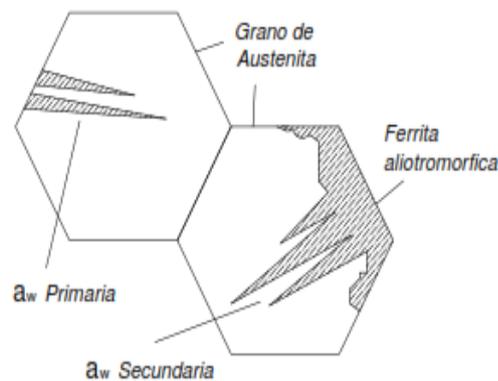


Figura 2. 22 Morfología de la Ferrita de Widmanstaetten primarias y secundarias

(Fuente:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf>)

2.4.5.5 Tamaño de Grano

Una de las mediciones micro estructurales cuantitativas más comunes es aquella del tamaño de grano de metales y aleaciones. Numerosos procedimientos han sido desarrollados para estimar el tamaño de grano, estos procesos están sintetizados en detalle en la norma ASTM E112.23

Método planimétrico

Es el más antiguo procedimiento para medir el tamaño de grano de los metales. El cual consiste en que un círculo de tamaño conocido (generalmente 79,8 mm de diámetro y 5000 de área) es extendido sobre una microfotografía o usado como un patrón sobre una pantalla de proyección.

Se cuenta el número de granos que están completamente dentro del círculo y el número de granos que interceptan el círculo para un conteo exacto los granos deben ser marcados cuando son contados lo que hace lento este método.

La imagen de abajo muestra en el centro un círculo con una superficie de 5000mm. El círculo exterior tiene un diámetro de 175mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones. (Diego M, 1972, pág.157)

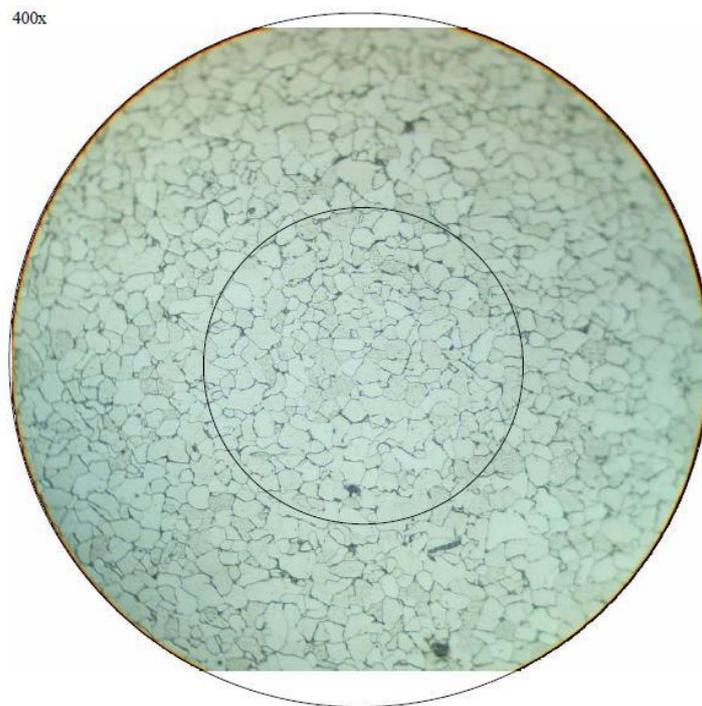


Figura 2. 3 Método Planímetro

(Fuente: <http://www.laboratorio.de.metalografia.y.soldadura>)

Cálculo del Tamaño de Grano

N_A = Granos por mm^2

$N_{interno}$ = número de granos dentro del círculo

$N_{interceptado}$ = número de granos interceptados por el círculo

f = múltiplo de Jeffries

$$N_A = f \left(N_{interno} + \frac{N_{interceptados}}{2} \right)$$

Para un área de $5000 \text{ mm}^2 \rightarrow f = 0.0002 M^2$ (M = magnificación)

2.4.6. Norma AWS

El término “norma” es empleado por la AWS, la ASTM y el ANSI (**Instituto Nacional Estadounidense de Estándares**), se aplica de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por ésta.

Una especificación es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no. (**Catálogo de indura, 2001, pág. 4, 5**)

2.4.6.1. Código para soldadura de puentes ANSI/ASHTO/AWS D1.5

Esta norma cubre los requisitos de fabricación por medio de soldadura aplicables a los puentes de carreteras, y debe ser usado conjuntamente con la Especificación Estándar

para Puentes de Carreteras AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Autopista Estatal y Transportación) para el Diseño de Puentes.

Las provisiones de este código no son aplicables a la soldadura de metales base de espesores menores a 3 mm. Las secciones de que consta este documento se listan a continuación:

1. Provisiones Generales
2. Diseño de Conexiones Soldadas
3. Mano de Obra
4. Técnica
5. Calificación
6. Inspección
- 7 Soldadura de Pernos
8. Estructuras Estáticamente Cargadas (sin aplicaciones dentro de este código)
9. Puentes de Acero Soldados
10. Estructuras Tubulares (sin aplicaciones dentro de este código)
1. Reforzamiento y Reparación de Estructuras Existentes (sin aplicaciones dentro de este código). (Catálogo de Indura, 2001, pág. 4, 5)

2.4.6.2. Aceros Estructurales

Es un material usado para la construcción de estructuras, de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas esta la gran resistencia a tensión y compresión así como su costo razonable. Se define como acero estructural al combinar el hierro (mínimo 98%), carbono y pequeñas proporciones de otros elementos. Se establece la siguiente división de los aceros empleados en estructuras: (Gerdau Aza 2002, pag20)

- Aceros al Carbono
- Aceros de alta resistencia y baja aleación

Aceros al Carbono

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros son los siguientes:

- Ductilidad y homogeneidad
- Valor elevado de la relación resistencia mecánica /límite de fluencia
- Soldabilidad
- Apto para ser cortado por llama sin endurecimiento
- Resistencia a la corrosión, razonable

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado por los aceros al carbono de bajo o medio carbono, que son obtenidos por laminación y cuyos límites de resistencia varían de 40 a 50 kgf/mm² y alargamiento que están en torno al 20%.(Gerdau Aza 2002, pag20)

Acero ASTM A588

Este acero está destinado principalmente para uso en puentes y edificios en los que la disminución en peso o mayor durabilidad son importantes.

La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero en la mayoría de los ambientes es sustancialmente mejor que la de los aceros al carbono estructurales con o sin adición de cobre. Cuando es debidamente expuesto a la atmósfera, este acero es adecuado para muchas aplicaciones sin ningún tipo de recubrimiento (pintura). (Norma ASTM A588)

Tabla 2. 2 Composición química acero A 588 Grado A

	Grado A	Grado B	Grado C	Grado K
Carbono, max	0.19	0.20	0.15	0.17
Manganeso, max	0.80-1.25	0.75-1.35	0.80-1.35	0.50-1.20
Fósforo, max	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, max	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	0.30-0.65	0.15-0.50	0.15-0.40	0.25-0.50
Níquel, max	0.40	0.50	0.25-0.50	0.40
Cromo	0.40-0.65	0.40-0.70	0.30-0.50	0.40-0.70
Molibdeno, max	...	...	...	0.10
Cobre	0.25-0.40	0.20-0.40	0.20-0.50	0.30-0.50
Vanadio	0.02-0.10	0.01-0.10	0.01-0.10	...
Columbio	...	...	...	0.005-0.05

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a-588>)

Tabla 2. 3 Propiedades Mecánicas Acero A588 Grado A

	Para espesores inferiores a 4 in. incl	Para espesores entre 4 in. y 5 in. incl	Para espesores sobre 8 in. incl
Resistencia a la tracción:	70,000 psi [485 MPa]	67,000 psi [460 MPa]	63,000 psi [435 MPa]
Punto de fluencia:	50,000psi [345 MPa]	46,000psi [315 MPa]	42,000psi [290 MPa]
Elongación en 8 "	18% min	...	...
Elongación en 2 "	21% min	21% min	21% min

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a-588>)

2.5. Hipótesis.

El estudio de procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado A mejorará las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes.

2.6. Señalamiento de variables

- **Variable Independiente:** Estudio de procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero A588 grado A.
- **Variable dependiente:** las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes.

2.6.1. Terminos de relación

- Mejorará

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cualitativo ya que la presente investigación aportará datos. Se basa en la recolección y análisis sistemático de materiales narrativos, que encierran un alto contenido subjetivo. Esta investigación busca y analiza las diferentes causas del problema, también tiene como propósito comprobar la hipótesis mediante ensayos para posteriormente la interpretación de resultados.

En la presente investigación tiene una tendencia hacia el paradigma cualitativo, debido a que en esta investigación se privilegia técnicas cualitativas buscando la comprensión de los fenómenos para orientarse hacia la formación de hipótesis que permiten solucionar la temática de esta investigación.

3.2. Modalidad básica de la investigación

La modalidad de investigación es de carácter bibliográfica – documental y de campo.

3.2.1. Investigación de campo

Esta investigación se realizara en los laboratorios de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica; en donde se realizaran ensayos de tracción, metalografía de las diferentes probetas y otra parte de ensayos de dobles e impacto se realizara en los laboratorios de materiales de la Politécnica Nacional para obtener los principales resultados del estudio.

3.2.2. Investigación bibliográfica

La recolección de datos bibliográficos, conceptos de soldadura y procesos de soldadura como son FCAW y SMAW en vigas de puentes estructurales se obtendrá de varios autores y fuentes de libros, manuales, folletos, páginas web, detalladas y documentadas a través del sustente bibliográfico.

3.3. Nivel o tipo de investigación

3.3.1. Exploratorio

El nivel seleccionado para la investigación es de tipo exploratorio, ya que nos permite reconocer variables de interés investigativo, en el comportamiento de los diferentes procesos de soldadura utilizados en la construcción de vigas de puentes colgantes utilizando el acero A588 grado A.

3.3.2. Asociación de variables

La relación de variables tanto independiente como dependiente en el tema de estudio es de gran importancia, para poder indicar el grado de dependencia de los distintos parámetros en la investigación.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En el presente análisis se procederá a definir de probetas las cual será objeto de investigación bajo la norma AWS D1.5 de la siguiente manera:

- Juntas soldadas con el proceso FCAW
- Juntas soldadas con el proceso SMAW

3.4.2. Muestra

La muestra se tomó de la Norma AWS D1.5 para este análisis y está dado bajo la consideración de estudio de casos:

a) Material base

4 Probetas en placas de acero A 588 grado A

b) Proceso FCAW (junta a tope)

- 4 Probetas de juntas soldadas para ensayo de dobles
- 5 Probetas de juntas soldadas para ensayo de impacto.
- 2 Probetas de juntas soldadas para ensayo de tracción transversal
- 1 Probetas de juntas soldadas para ensayo de tracción longitudinal

c) Proceso SMAW (junta a tope)

- 4 Probetas de juntas soldadas para ensayo de dobles
- 6 Probetas de juntas soldadas para ensayo de impacto.
- 2 Probetas de juntas soldadas para ensayo de tracción transversal
- 1 Probetas de juntas soldadas para ensayo de tracción longitudinal

d) Proceso FCAW (junta a filete)

- 2 Probetas de soldadura de filete para ensayo macrográfico

e) Proceso SMAW (junta a filete)

- 2 Probetas de soldadura de filete para ensayo macrográfico

3.5. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Estudio de procesos de Soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A 588 Grado A

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS INSTRUMENTOS
<p>La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor o presión. Los parámetros de soldadura dependen según lo especificado en el procedimiento de soldadura calificado aplicable.</p> <p>La Norma AWS D 1.5 cubre todos los requisitos para requisitos para la fabricación de puentes, construcción, acero, plan de control de fracturas, puentes de acero, soldaduras de vigas, inspección de soldaduras.</p>	<p>Parámetros</p> <p>Material</p> <p>Norma</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de junta • Espesores • Tipo de Material de aporte • Parámetros de la Norma AWS D1.5 	<ul style="list-style-type: none"> • Filete • Tope • 12mm (alma) • 20mm (patín) • ¿Qué tipo de material de aporte será utilizado en cada uno de los procesos de soldadura? • ¿Cuál será los parámetros que establece la norma para la obtención de la junta? 	<p>Ensayos de laboratorio</p> <p>Tabulación de datos</p> <p>Manuales, Catálogos,</p> <p>Norma D1.5</p>

Elaborado: Jaime Sailema

Variable Dependiente: propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS INSTRUMENTOS
Las propiedades mecánicas sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, describen la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, como son fuerzas de tracción, impacto. También el material es sometido a otro tipos de ensayos como son de doblez guiado, metalografía y macrográfica que determinan la calidad, ductilidad composición y estructura del material.	Tracción Impacto Dobles guiado Metalografía Macrografía	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la tracción Porcentaje de Elongación Energía de impacto Fisuras Discontinuidades Microestructura (componentes) Penetración de cordón de soldadura 	<p>¿Cuál es resistencia a la tracción que soporta la junta?</p> <p>¿Cuál es el porcentaje de elongación que soporta la junta?</p> <p>¿Cuál es la energía de Impacto que soporta la junta?</p> <p>¿De cuánto serán las discontinuidades y fisuras de la junta?</p> <p>¿Cuál es el porcentaje de Perlita y Ferrita en cada proceso?</p> <p>Cuál será la penetración del cordón de soldadura?</p>	<p>Técnicas Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos de Ensayos. de laboratorio</p> <p>Instrumentos: Manuales, Catálogos, Normas.</p> <p>Técnicas de recolección de datos</p> <p>Fuente de observación Norma D 1.5</p>

Elaborado: Jaime Sailema

3.6. Recolección de la información

En la presente investigación se realizara estudios de tipo bibliográficos y experimentales se utilizan técnicas para la recolección de la información tales como la observación, para lo cual se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir y analizar los hechos que ayudaran tener una base informativa suficiente.

De manera documental se analizara la información que sirve como guía en la investigación, recolección de información de libros, publicaciones, artículos, fichas técnicas y tabulación de datos los cuales se obtendrán de los ensayos de las probetas que se realizan en laboratorio.

3.7. Procesamiento y análisis

3.7.1. Plan de Procesamiento

El proceso para la obtención de la información se basa en forma experimental se realizara tablas, fichas de recolección de información, fotografías, planos y diferentes ensayos que son sometidas cada una de las probetas como son metalográficos, tracción, impacto y dobles, con el cual se determinara la variación de propiedades mecánicas en cada proceso y poder determinar cuál de los dos procesos de soldadura es el más confiable para la fabricación de vigas de puentes colgantes.

3.7.2. Análisis e Interpretación de resultados

Una vez realizados los gráficos de valores, tabulaciones de datos, comparaciones y cualquier otro fruto de la investigación se procederá a la interpretación y análisis de los resultados, para la interpretación de resultados necesitamos contar con el apoyo del marco teórico, además analizaremos que está ocurriendo con las propiedades mecánicas en cada una de las probetas con los dos métodos como son FCAW y SMAW que nos permitirán resaltar la tendencia de los resultados de acuerdo a los objetivos e hipótesis permitiéndonos comprobar la validez de dicha hipótesis para de esta manera otorgar nuestras conclusiones y recomendación.

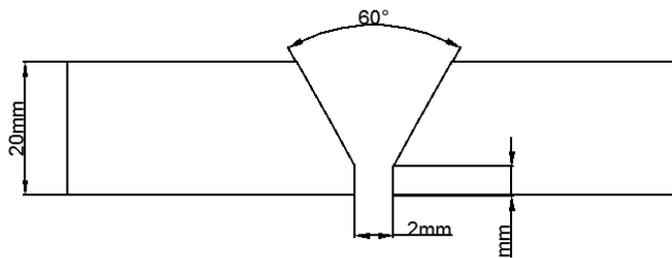
CAPÍTULO IV

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

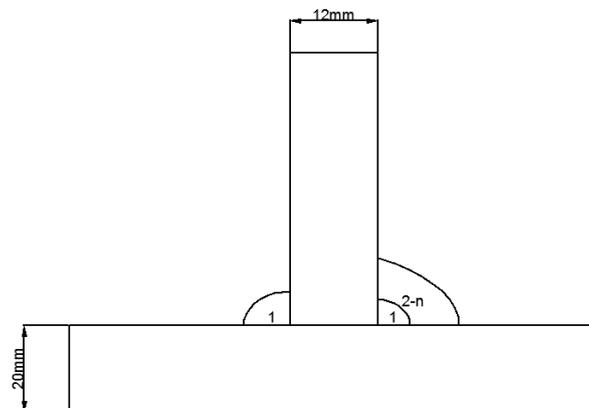
4.1.1. Diseño de la Junta Soldada

El diseño de la junta se realizó de acuerdo con la norma AWS D1.5 Junta a tope (Anexo A1) y junta a filete (Anexo A2) como se indica a continuación.

Junta a Tope (Biselado V)



Junta a Filete



4.1.2. Elección del tipo de electrodo

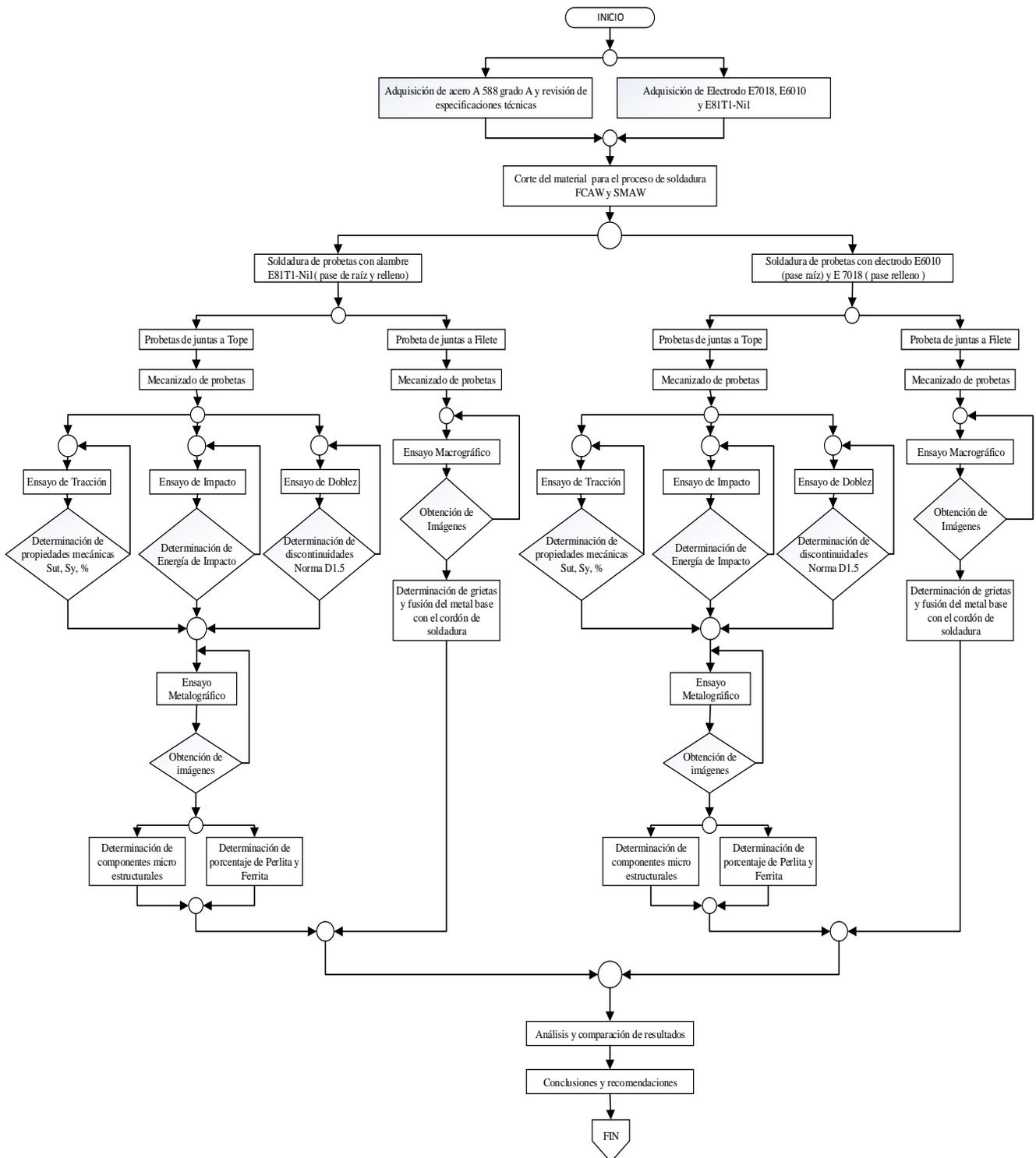
Los electrodos utilizados para la preparación de las juntas a soldar con los diferentes procesos son:

Para el proceso SMAW se utiliza los electrodos E6010 y E7018 de 1/8" seleccionados según la Norma AWS A5.1 (Anexo A3, A4) con sus respectivas características.

Para el proceso FCAW se utiliza alambre tubular E81T1-Ni1 de 1,2mm seleccionados según la Norma AWS A5.29 (Anexo A5, A6) con sus respectivas características.

4.1.3. Proceso de Análisis de Resultados

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de obtención de resultados de los diferentes ensayos realizados del Acero ASTM a 588 grado A con los dos procesos de soldadura FCAW y SMAW.



4.2. Presentación de los resultados

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos serán presentados en formatos establecidos tanto para Ensayo de tracción, Ensayo de Impacto, Ensayo de doblez, Ensayo de metalografía y Ensayo Macrográfico con los códigos correspondientes como se muestra a continuación:

Tabla 4.1. Codigos de las probetas de los ensayos destructivos

N°	PROC.	ENSAYO TRACCION	ENSAYO IMPACTO	ENSAYO DOBLEZ	ENSAYO METALOGRAFICO.	ENSAYO MACROGRAFICO.
	FCAW	FC-T1	FCH-1	FDG-1	FM-1	FC-1MG
		FC-T2	FCH-2	FDG-2	FM-2	FC-2MG
		FC-R1	FCH-3	FDG-3	FM-3	FC-3MG
			FCH-4	FDG-4		FC-4MG
			FCH-5			
2	SMAW	SM-T1	SCH-1	SDG-1	SM-1	SM-1MG
		SMT-2	SCH-2	SDG-2	SM-2	SM-2MG
		SM-R1	SCH-3	SDG-3	SM-3	SM-3MG
			SCH-4	SDG-4		SM-4MG
			SCH-5			

Fuente: Autor

FC-T: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de tracción plana.

FC-R: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de tracción circular.

FCH: Proceso de soldadura FCAW, ensayo charpys.

FDG: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de doblez guiado.

FM: Proceso de soldadura FCAW, ensayo metalográfico.

FC-MG: Proceso de soldadura FCAW, ensayo macrográfico.

SM-T: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de tracción plana.

SM-R: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de tracción circular.

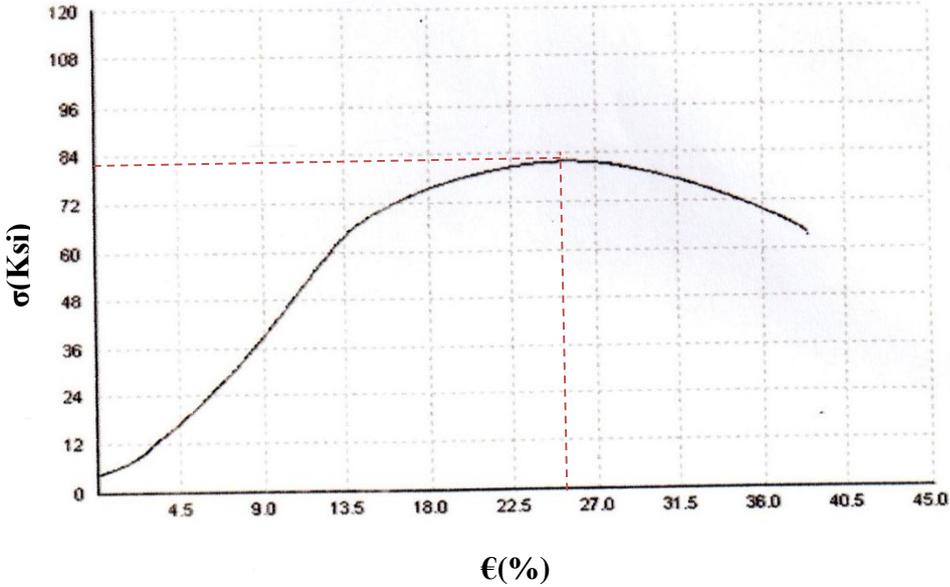
SCH: Proceso de soldadura FCAW, ensayo charpys.

SDG: Proceso de soldadura FCAW, ensayo de doblez guiado.

SM: Proceso de soldadura FCAW, ensayo metalográfico.

SM-MG: Proceso de soldadura FCAW, ensayo macrográfico.

4.2.1. Ensayo de probetas planas con el proceso FCAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				 REG: JT-TP	
	ENSAYO DE TRACCIÓN					
DATOS INFORMATIVOS:						
Norma Aplicada: ASTM E8		Probeta: FC-T1		Proceso de Soldadura: FCAW		
Material: ASTM A588		Espesor: 20mm		Lugar: Quito		
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional						
Material de Aporte: Alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂						
Método: Deformación controlada			Máquina: Máquina Universal			
Responsable: Jaime Sailema		Fecha: 10/08/2013		Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)		
RESULTADO:						
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN						
						
Ident.	Ancho Promedio Inicial	Espesor Promedio Inicial	Carga Máxima Soportada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa
T1	16,28	20,1	41.600	185.046	82	565
Observaciones:			Falla en el material base			
Calificación:			Aprueba			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



REG: JT-TP

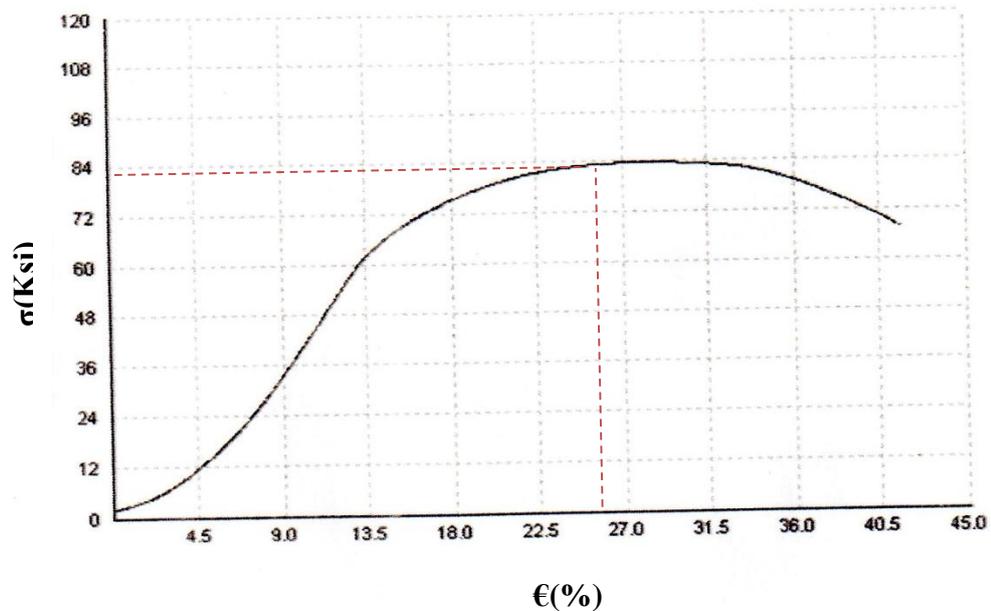
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Norma Aplicada: ASTM E8	Probeta: FC-T2	Proceso de Soldadura: FCAW
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Lugar: Quito
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Material de Aporte: Alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO2		
Método: Deformación controlada	Máquina: Máquina Universal	
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 10/08/2013	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)

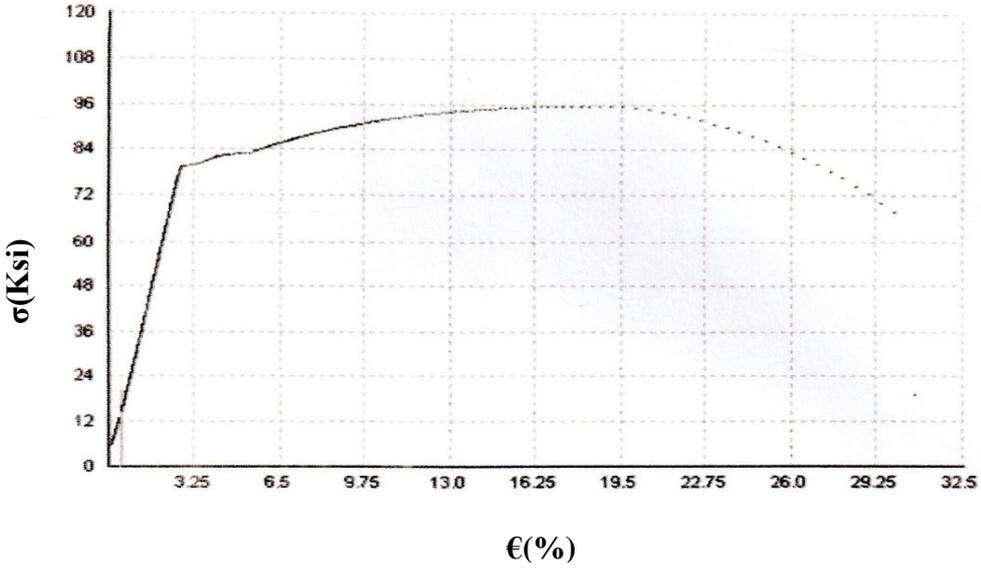
RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

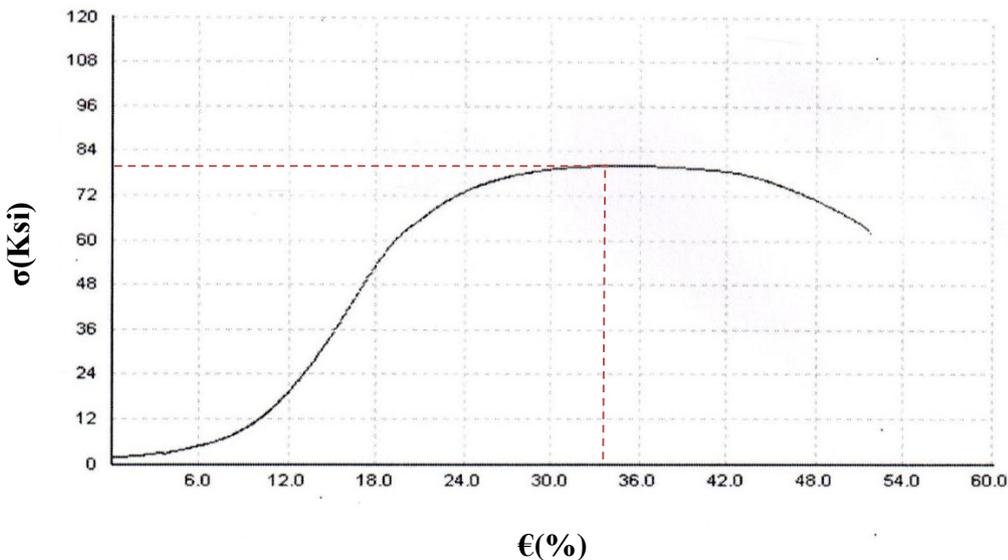


Ident.	Ancho Promedio Inicial	Espesor Promedio Inicial	Carga Máxima Soportada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa
T1	19,42	20,42	51.400	228.639	83,6	577
Observaciones:			Falla en el material base			
Calificación:			Aprueba			

4.2.1.1 Ensayo de probetas circulares con el proceso FCAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				 REG: JT-TC			
	ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS:								
Norma Aplicada: ASTM E8		Probeta: FC-R1		Proceso de Soldadura: FCAW				
Material: ASTM A588		Espesor: 20mm		Lugar: Quito				
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional								
Material de Aporte: Alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂								
Método: Deformación controlada				Máquina: Máquina Universal				
Responsable: Jaime Sailema				Fecha: 10/08/2013		Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)		
RESULTADO:								
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN								
								
Ident.	Diámetro Promedio Inicial	Carga Máxima		Límite de fluencia		Resistencia a la Tracción		Elongación (%)
	mm	lbf	N	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
R1	12,7	18.75	83.404	80,1	552,3	95,5	658,4	27,58
Observaciones:					Rotura en el centro de la probeta			
Calificación:					Aprueba			

4.2.1.2 Ensayo de probetas planas con el proceso SMAW del acero A588

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				 REG: JT-TP	
		ENSAYO DE TRACCIÓN					
DATOS INFORMATIVOS:							
Norma Aplicada: ASTM E8		Probeta: SM-T1		Proceso de Soldadura: SMAW			
Material: ASTM A588		Espesor: 20mm		Lugar: Quito			
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional							
Material de Aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)							
Método: Deformación controlada			Máquina: Máquina Universal				
Responsable: Jaime Sailema		Fecha: 31/01/2014		Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)			
RESULTADO:							
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN							
							
Ident.	Ancho Promedio Inicial	Espesor Promedio Inicial	Carga Máxima Soportada		Resistencia a la tracción		
	mm		mm	lbf	N	Ksi	MPa
T1	17,21	20,66	44.200	196.611	80,2	553	
Observaciones:			Falla en el material base				
Calificación:			Aprueba				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



REG: JT-TP

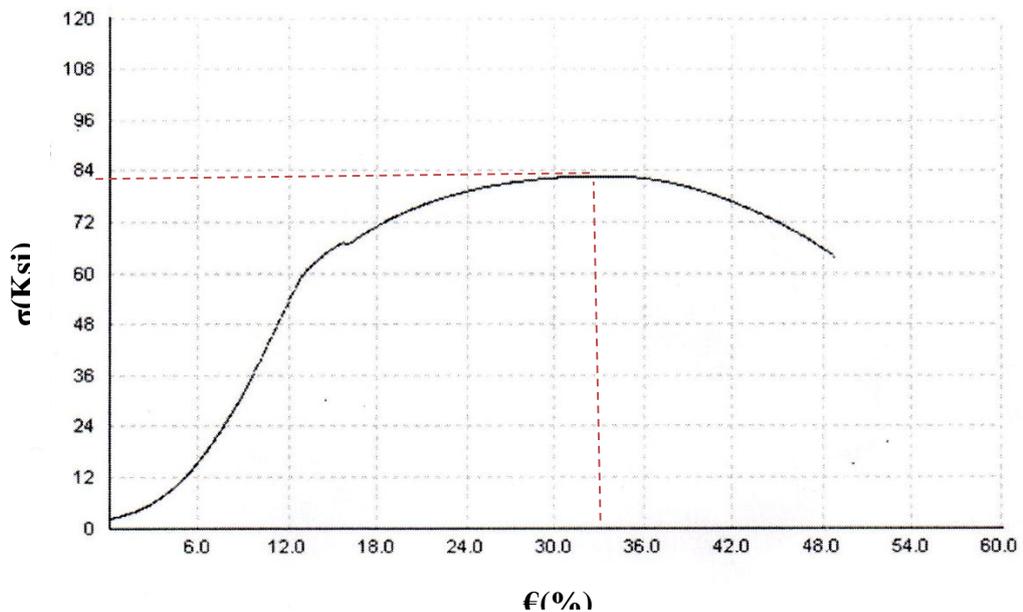
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Norma Aplicada: ASTM E8	Probeta: SM- T2	Proceso de Soldadura: SMAW
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Ciudad: Quito
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Material de Aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)		
Método: Deformación controlada	Máquina: Máquina Universal	
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 31/01/2014	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)

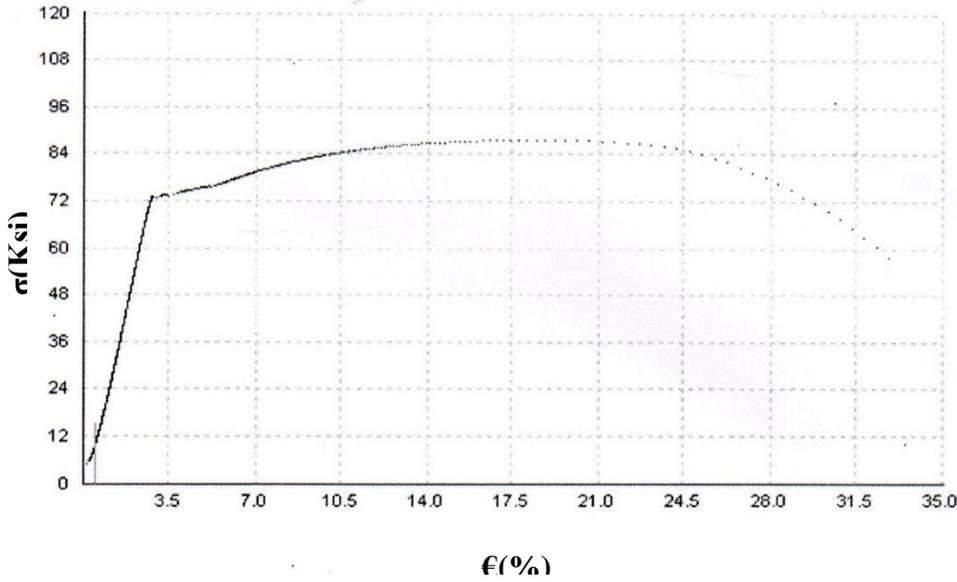
RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN



Ident.	Ancho Promedio Inicial	Espesor Promedio Inicial	Carga Máxima Soportada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa
T2	19,26	20,14	49.700	221.077	82,7	570,1
Observaciones:			Falla en el material base			
Calificación:			Aprueba			

4.2.1.3 Ensayo de probetas circulares con el proceso SMAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				 REG: JT-TC			
	ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS:								
Norma Aplicada: ASTM E8		Probeta: SM-R1		Proceso de Soldadura: SMAW				
Material: ASTM A588		Espesor: 20mm		Ciudad: Quito				
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional								
Material de Aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)								
Método: Deformación controlada			Máquina: Máquina Universal					
Responsable: Jaime Sailema		Fecha: 10/08/2013		Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)				
RESULTADO:								
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN								
								
Ident.	Díámetro Promedio Inicial	Carga Máxima		Límite de fluencia		Resistencia a la Tracción		Elongación (%)
	mm	lbf	N	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
R1	12,67	17.150	76.287	73,5	506,8	87,8	605,1	26,78
Observaciones:					Rotura en el centro de la probeta			
Calificación:					Aprueba			

4.2.2.1 Ensayo de Impacto de la junta soldada FCAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: JT-CH
---	---	---

ENSAYO DE IMPACTO

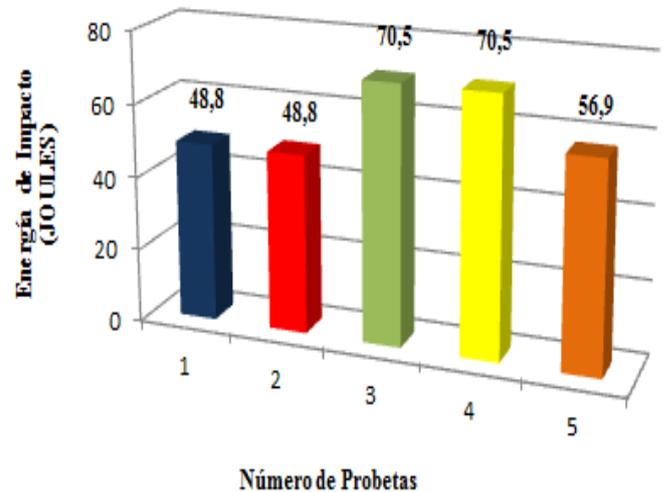
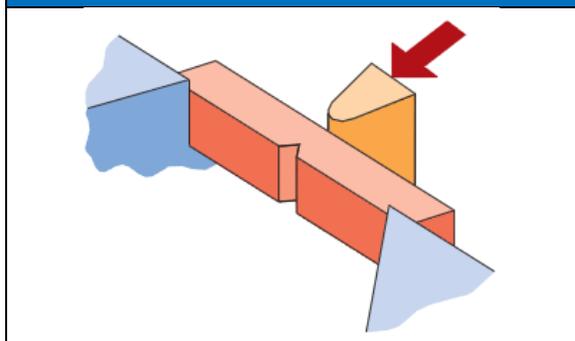
DATOS INFORMATIVOS:

Norma Aplicada: ASTM E 23	Probeta: FCH-1,2,3,4,5	Proceso de Soldadura: FCAW
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Ciudad: Quito
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 10/08/2013	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)

PARÁMETROS DE ENSAYO DE IMPACTO

Método: Charpy	Temperatura: 20° C	Energía mínima de impacto: 27 J
-----------------------	---------------------------	--

ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO



N°	Energía de Impacto (J)	Observación
FCH-1	48,8	Se elimina
FCH-2	48,8	Aprueba
FCH-3	70,5	Aprueba
FCH-4	70,5	Se elimina
FCH-5	56,9	Aprueba
Promedio: FCH2,FCH3, FCH5	58,73	Aprueba

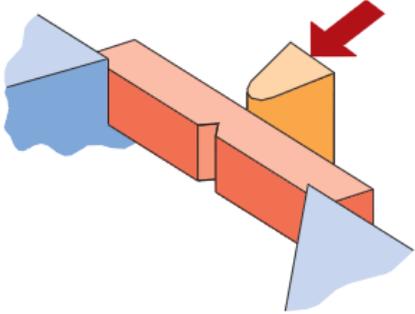
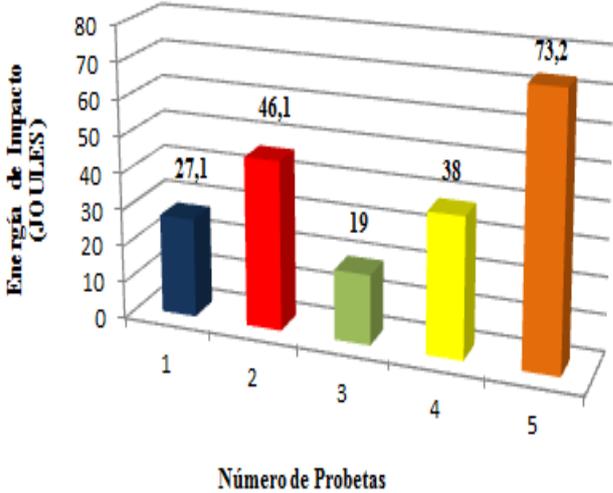
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS :

En las probetas ensayadas se observa que el promedio de la Energía de impacto se encuentra en 58,73 Joule. El mayor valor registrado es de 70,5 J y el menor valor es 48,8 los mismos que se descarta según lo que indica la norma D 1.5.

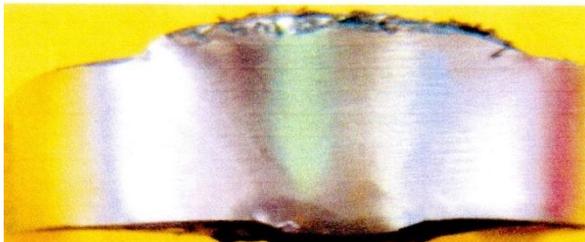
Observaciones:

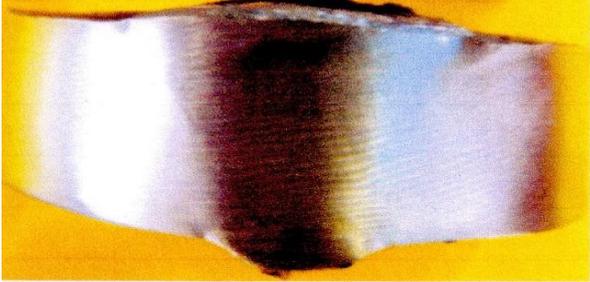
El promedio de las probetas para el ensayo charpy's se calcula solo de las probetas aprobadas.

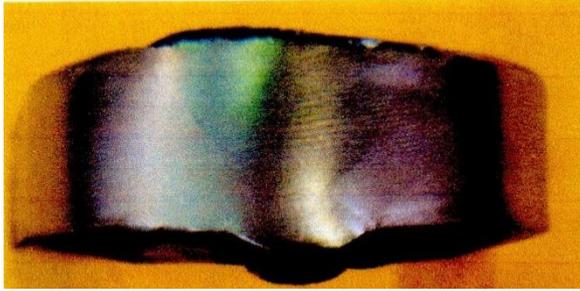
4.2.2.2 Ensayo de Impacto de la junta soldada SMAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: JT-CH																					
ENSAYO DE IMPACTO																							
DATOS INFORMATIVOS:																							
Norma Aplicada: ASTM E 23	Probeta: SCH-1,2,3,4,5	Proceso de Soldadura: SMAW																					
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Cuidad: Quito																					
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional																							
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 10/08/2013	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)																					
PARÁMETROS DE ENSAYO DE IMPACTO																							
Método: Charpy	Temperatura: 20° C	Energía mínima de impacto: 27 J																					
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO																							
																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">N°</th> <th style="width: 25%;">Energía de Impacto (J)</th> <th style="width: 60%;">Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCH-1</td> <td style="text-align: center;">27,1</td> <td>Aprueba</td> </tr> <tr> <td>SCH-2</td> <td style="text-align: center;">46,1</td> <td>Aprueba</td> </tr> <tr> <td>SCH-3</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td>Se elimina</td> </tr> <tr> <td>SCH-4</td> <td style="text-align: center;">38</td> <td>Aprueba</td> </tr> <tr> <td>SCH-5</td> <td style="text-align: center;">73,2</td> <td>Se elimina</td> </tr> <tr> <td>Promedio: SCH1,SCH2, SCH4</td> <td style="text-align: center;">37,1</td> <td>Aprueba</td> </tr> </tbody> </table>	N°	Energía de Impacto (J)	Observación	SCH-1	27,1	Aprueba	SCH-2	46,1	Aprueba	SCH-3	19	Se elimina	SCH-4	38	Aprueba	SCH-5	73,2	Se elimina	Promedio: SCH1,SCH2, SCH4	37,1	Aprueba		
N°	Energía de Impacto (J)	Observación																					
SCH-1	27,1	Aprueba																					
SCH-2	46,1	Aprueba																					
SCH-3	19	Se elimina																					
SCH-4	38	Aprueba																					
SCH-5	73,2	Se elimina																					
Promedio: SCH1,SCH2, SCH4	37,1	Aprueba																					
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS :																							
<p>En las probetas ensayadas se observa que el promedio de la Energía de impacto se encuentra en 37,1 Joule. El mayor valor registrado es de 73,2 J. y el menor valor es 19,0 J los mismos que se descarta según lo q indica la norma D 1.5.</p>																							
Observaciones:																							

4.2.3.1 Ensayo de Doble de la junta soldada FCAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: JT-DG
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Norma Aplicada: AWS D1.5	Probeta: FC-1DL,2DL,3DL,4DL	Proceso de Soldadura: FCAW
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Ciudad: Quito
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Técnica de soldadura: Ranura	Tipo de Junta: A tope	Posición de Soldadura: 3G
Material de Aporte: Alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO ₂		
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO		
Probeta: FC- 1DL		Observaciones
		Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de porosidades
		Después del ensayo: Se observa una indicación abierta de 0,7mm , la cual es menor a la requerida que es de 3mm, según lo que indica la norma AWS D1.5 Criterio de aceptación y rechazo: Aprueba
Probeta: FC-2DL		Observaciones

	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de porosidades</p>
	<p>Después del ensayo: No se observa ninguna indicación abierta</p> <p>Criterio de aceptación y rechazo: Aprueba</p>
<p>Probeta: FC-3DL</p>	<p>Observaciones:</p>
	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de porosidades</p>
	<p>Después del ensayo: Se observa una indicación abierta de 2,4mm , la cual es menor a la requerida que es de 3mm, según lo que indica la norma AWS D1.5</p> <p>Criterio de aceptación y rechazo: Aprueba</p>
<p>Probeta: FC-4DL</p>	<p>Observaciones:</p>
	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de porosidades</p>

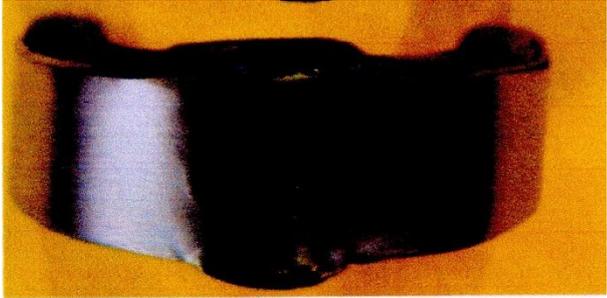


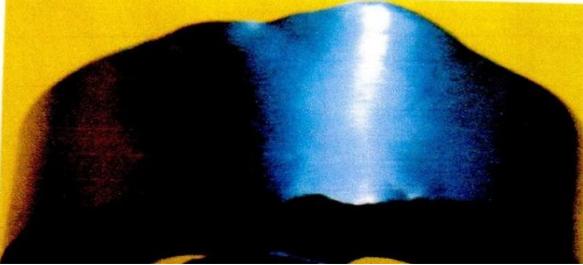
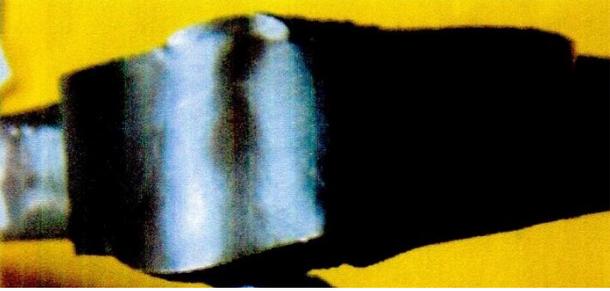
Después del ensayo:
No se observa ninguna indicación abierta.

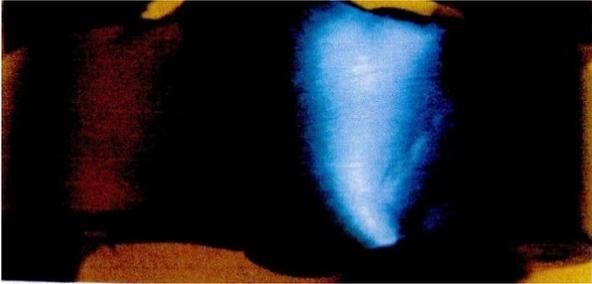
Criterio de aceptación y rechazo:
Aprueba

Probeta	Código	Criterio de aceptación y rechazo	
		Aprueba	No Aprueba
01	FC-1DL	✓	
02	FC-2DL	✓	
03	FC-3DL	✓	
04	FC-4DL	✓	

4.2.3.2 Ensayo de Doble de la junta soldada SMAW del acero A588

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: JT-DG
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Norma Aplicada: AWS D1.5	Probeta: SM-1DL,2DL,3DL,4DL	Proceso de Soldadura: SMAW
Material: ASTM A588	Espesor: 20mm	Cuidad: Quito
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Técnica de soldadura: Ranura	Tipo de Junta: A tope	Posición de Soldadura: 3G
Material de Aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)		
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Diego Mise(A. Laboratorio)
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO		
Probeta: SM-1DL		Observaciones
		Antes del ensayo: Cordón de soldadura no uniforme Mordeduras en la partes del cordón
		Después del ensayo: Se observa una indicación abierta de 2,39mm y 7,23mm , lo que indica que no se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5 Criterio de aceptación y rechazo: No aprueba
Probeta: SM-2DL		Observaciones

	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de mordeduras</p>
	<p>Después del ensayo: No se observa ninguna indicación abierta, , lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5</p> <p>Criterio de aceptación y rechazo: Aprueba</p>
<p>Probeta: SM-3DL</p>	<p>Observaciones:</p>
	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura uniforme Buena penetración Libre de porosidades</p>
	<p>Después del ensayo: No se observa ninguna indicación abierta, , lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5</p> <p>Criterio de aceptación y rechazo: Aprueba</p>
<p>Probeta: SM-4DL</p>	<p>Observaciones:</p>
	<p>Antes del ensayo: Cordón de soldadura no uniforme Mordeduras en la partes del cordón</p>

		Después del ensayo: Se observa una indicación abierta de 3,52 y 4,61mm , lo que indica que no se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	
		Criterio de aceptación y rechazo: No aprueba	
Probeta	Código	Criterio de aceptación y rechazo	
		Aprueba	No Aprueba
01	SM-1DL		x
02	SM-2DL	✓	
03	SM-3DL	✓	
04	SM-4DL		x

4.2.4. Análisis del Acero ASTM A588 grado A como viene de fabrica



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por: Ing. Mg. Juan Paredes	Realizado por: Jaime Sailema
Probeta: Todas	Fecha de ejecución: 17/04/2014
Lugar: Laboratorio de materiales	Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura del lugar: 22 °C	

DENOMINACIONES DEL ACERO UTILIZADO

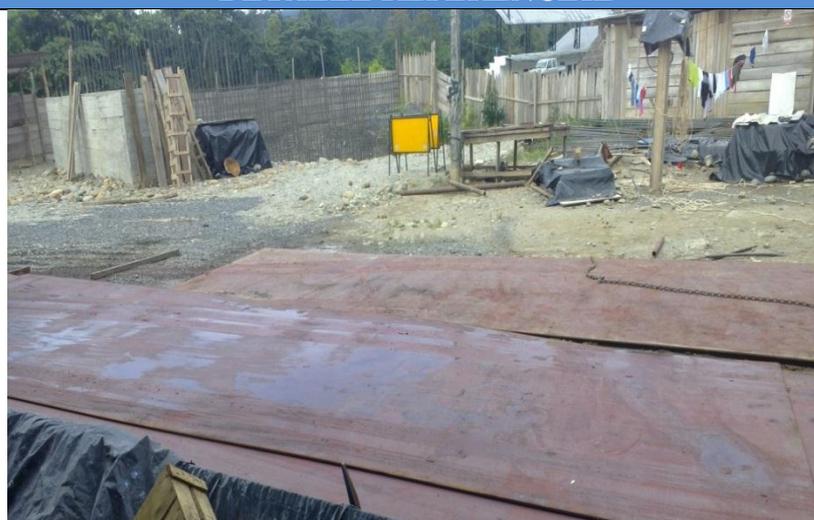
Material	Acero	Tipo	ASTM A588
Grado	A	Espesor	12 mm -20 mm

COMPOSICIÓN QUÍMICA

REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

ELEMENTO	COMPOSICIÓN %	Esfuerzo de Tensión mínimo Ksi (MPa)	70 (485)
C	0,15	Esfuerzo de Fluencia mínimo Ksi (MPa)	50 (345)
Mn	1	Elongación en 8" (200mm)	18%
Si	0,25	Elongación en 2" (50mm)	21%
Cr	0,50	Energía mínima de Impacto Joule (lbf-ft)	27 (20)
V	0,03		

DETALLE REFERENCIAL



Fuente: Extracto de la Norma ASTM A588

4.2.4.1 Análisis metalográfico del acero ASTM A588 como viene de fábrica

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ENSAYO METALOGRAFICO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: FM-1	Ciudad: Ambato	
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014	
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO		
Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min	
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Tiempo: 8 s	
RESULTADO:		
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO ASTM A 588 DE FÁBRICA (200_X, Nital 4, 15 seg.)		



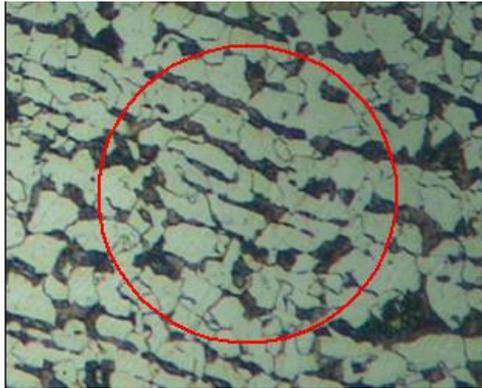
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Microestructura Acero ASTM A588
 Comercial 200X, Nital 4, 10 seg.**

Tamaño de grano : Norma ASTM E112



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(53 + \frac{38}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 72 = 576$$

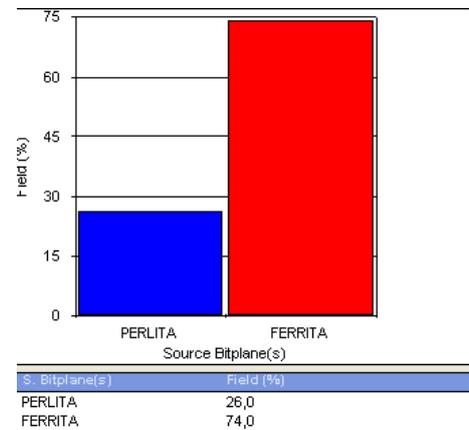
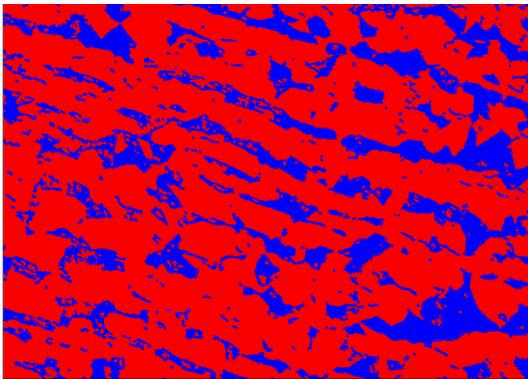
$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(576) - 2,954$$

$$G = 6,22 \cong 6$$

Componentes Microestructurales

Porcentaje



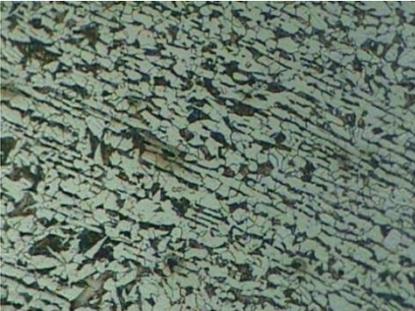
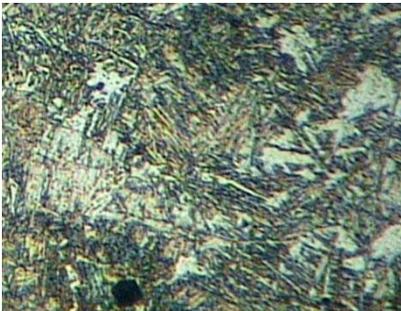
Resistencia a la tracción aproximada(R.T.A)

$$R.T.A = \frac{28 * (\% \text{ ferrita}) + 84 * (\% \text{ perlita})}{100} = \frac{28 * (74) + 84 * (26)}{100} = 42,56 \text{ Kgf/mm}^2 = 417,5 \text{ MPa}$$

Interpretación De Resultados

La microestructura del acero ASTM A588 analizada como viene de fábrica, tiene un tamaño de grano ASTM G= 6 constituida por 26% de perlita y 74% de ferrita, una resistencia a la tracción teórica de 417,5 MPa.

4.2.4.2 Análisis metalográfico de las junta soldadas de Acero ASTM A 588 con el proceso FCAW

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: FCAW		
Probeta: FM-1	Cuidad: Ambato		
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014		
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM			
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min		
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Tiempo: 8 s		
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON ALAMBRE E81 T1-Ni 1 CON GAS PROTECTOR CO ₂			
			
METAL BASE			
			
SOLDADURA	ZAT		



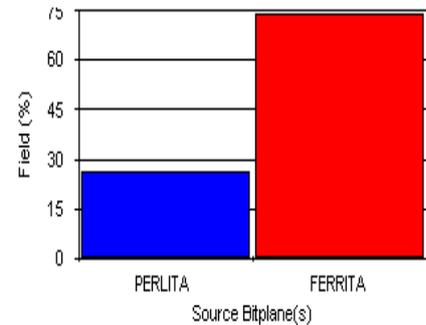
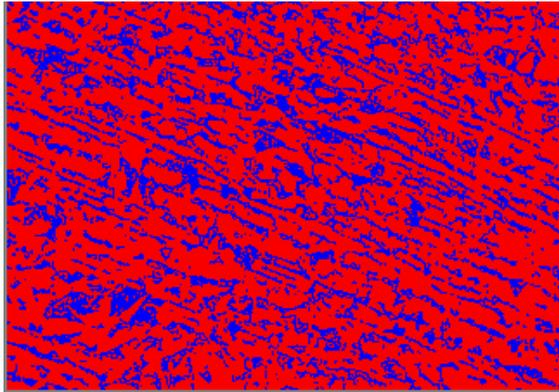
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Perlita y Ferrita

Método: ASTM E112

Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	25,9
FERRITA	74,1

Determinación del tamaño de grano



Cálculo

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(58 + \frac{42}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 79 = 632$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(632) - 2,954$$

$$G = 6,35 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de material base son: 74,1% de Ferrita y 25,9% de Perlita.

El tamaño de grano es 6,35 ≅ 6



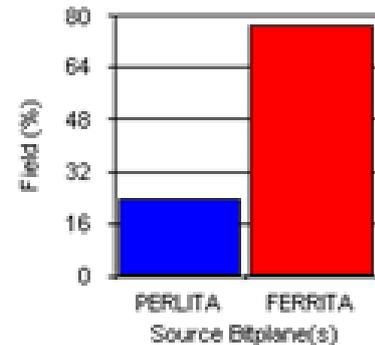
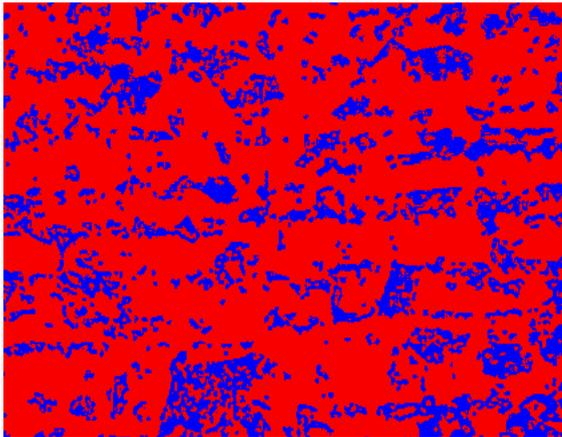
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT(ZONA TERMINCAMENTE AFECTADA)

Componentes: Perlita y Ferrita

Método: ASTM E112

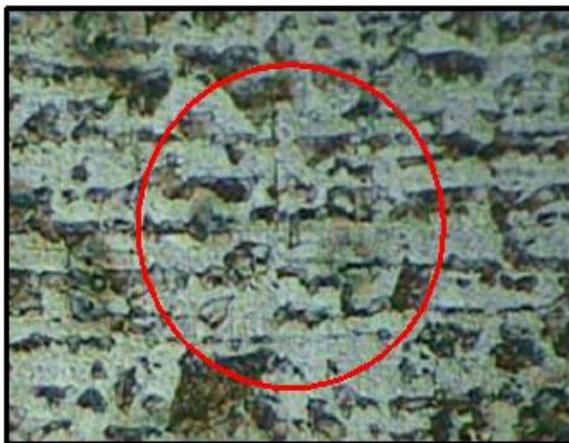
Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	23,1
FERRITA	76,9

Determinación del tamaño de grano



Cálculo

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(56 + \frac{19}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 34 = 276$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log (276) - 2,954$$

$$G = 5,15 \cong 5$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 76,9% de Ferrita y 23,1% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es $5,15 \cong 5$

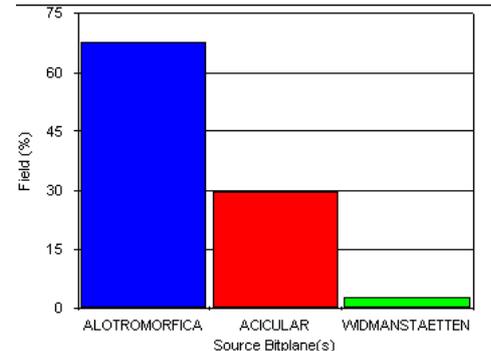
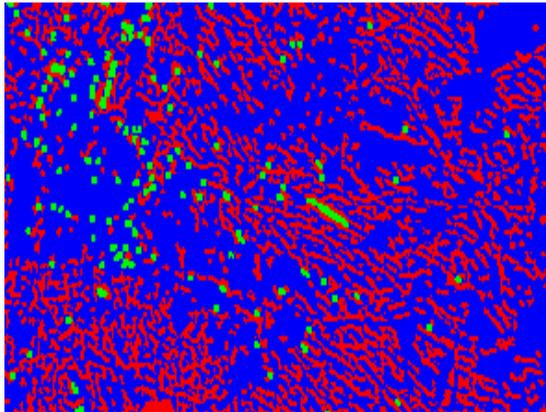


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
ALOTROMORFICA	67,8
ACICULAR	29,6
WIDMANSTAETTEN	2,7

Determinación del tamaño de grano



Cálculos

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(75 + \frac{38}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 94 = 752$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(752) - 2,954$$

$$G = 6,60 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂ se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 67,8% de Ferrita Alotriomórfica (a), 29,6 % de Ferrita Acicular (aa), y 2,7% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es 6,60 \cong 7



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO METALOGRÁFICO

DATOS INFORMATIVOS:

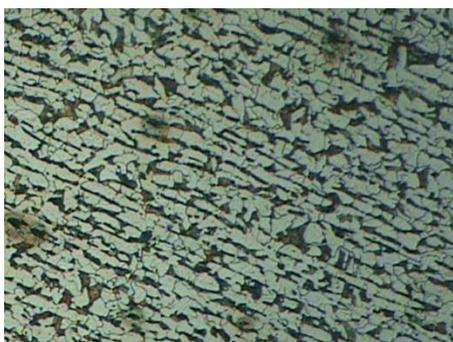
Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: FCAW
Probeta: FM-2	Cuidad: Ambato
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Durante: 8 s

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON ALAMBRE E81 T1-Ni 1 CON GAS PROTECTOR CO₂



METAL BASE



SOLDADURA



ZAT



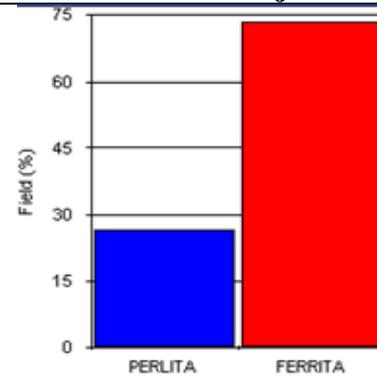
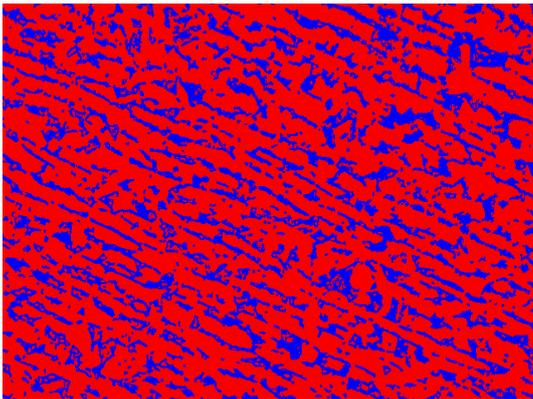
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E112

Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	26,5
FERRITA	73,5

Determinación del tamaño de grano



Cálculo

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(59 + \frac{45}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 81,5 = 652$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(652) - 2,954$$

$$G = 6,39 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de material base son: 73,5% de Ferrita y 26,5% de Perlita.

El tamaño de grano es $6,39 \cong 6$



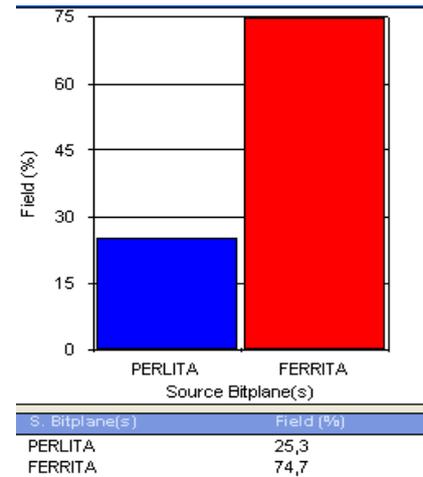
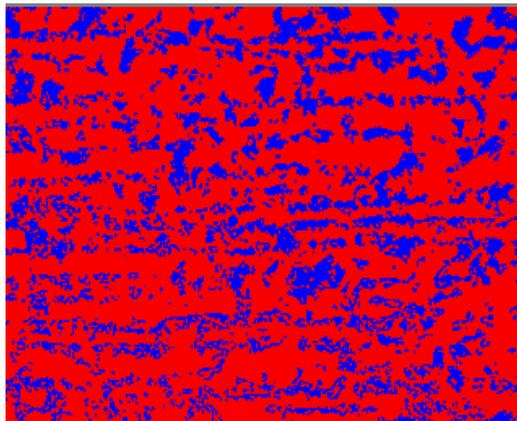
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E112

Magnificación: 200x

Porcentaje



Determinación del tamaño de grano

Cálculo



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(48 + \frac{32}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 64 = 512$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(512) - 2,954$$

$$G = 6,045 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 74,7% de Ferrita y 25,3% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 6,045 \cong 6

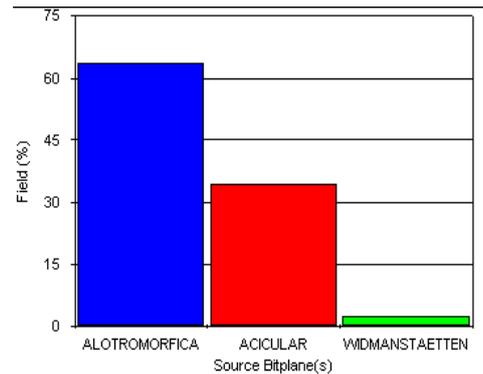
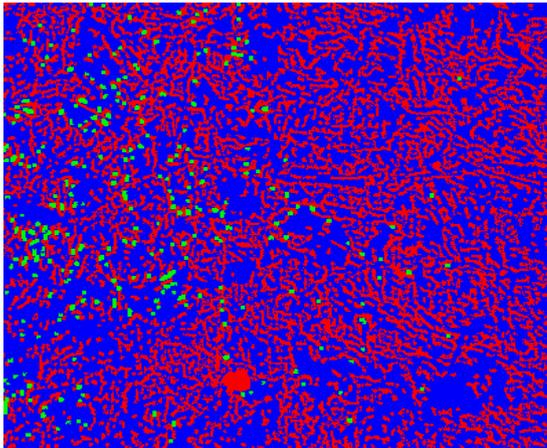


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

Magnificación: 200x

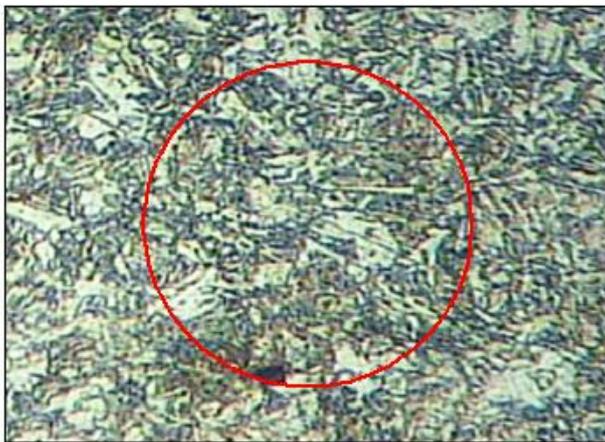
Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
ALOTROMORFICA	63,6
ACICULAR	34,2
WIDMANSTAETTEN	2,2

Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(80 + \frac{40}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 100 = 800$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(800) - 2,954$$

$$G = 6,69 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂ se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 63,6% de Ferrita Alotriomórfica (a), 34,2 % de Ferrita Acicular (aa), y 2,2% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es $6,69 \cong 7$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO METALOGRÁFICO

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: FCAW
Probeta: FM-3	Cuidad: Ambato
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

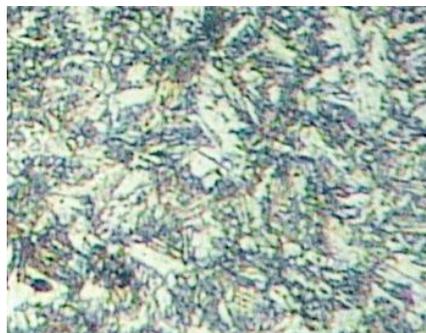
Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Durante: 8 s

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON ALAMBRE E81 T1-Ni 1 CON GAS PROTECTOR CO₂



METAL BASE



SOLDADURA



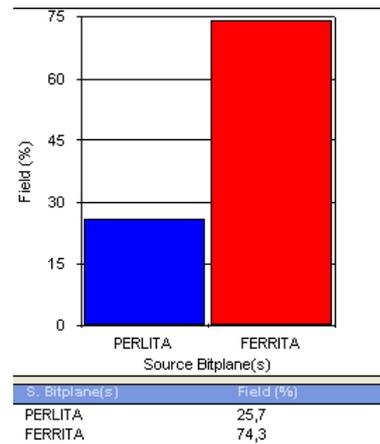
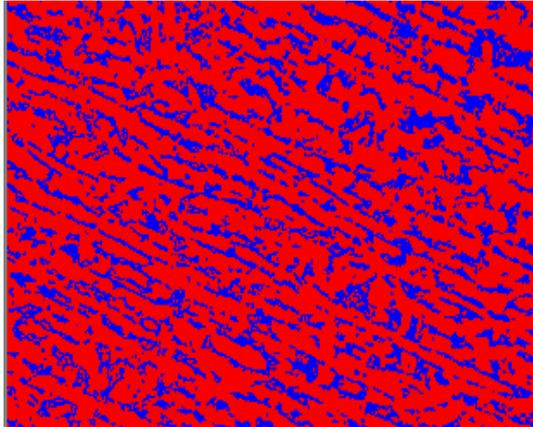
ZAT



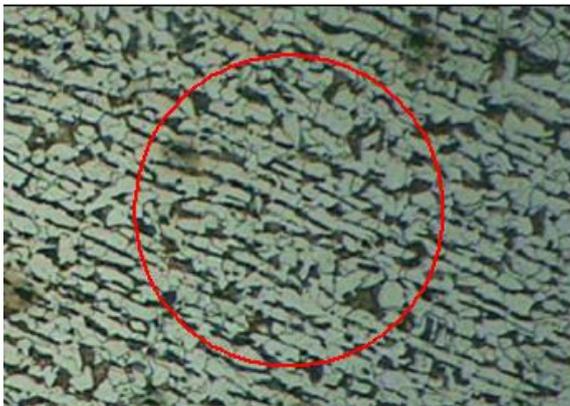
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Ferrita y Perlita **Método:** ASTM E 112

Magnificación: 200x **Porcentaje**



Determinación del tamaño de grano



Cálculos

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(59 + \frac{45}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 81,5 = 652$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log (652) - 2,954$$

$$G = 6,39 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de material base son: 74,3% de Ferrita y 25,7% de Perlita.
 El tamaño de grano es 6,39 \cong 6



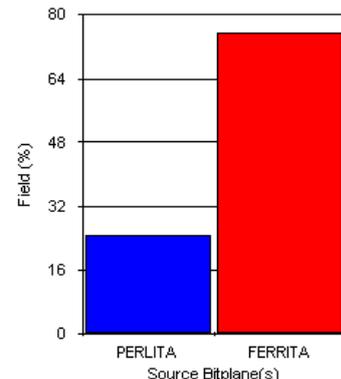
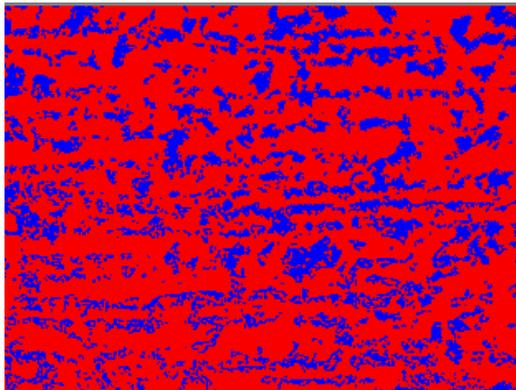
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E 112

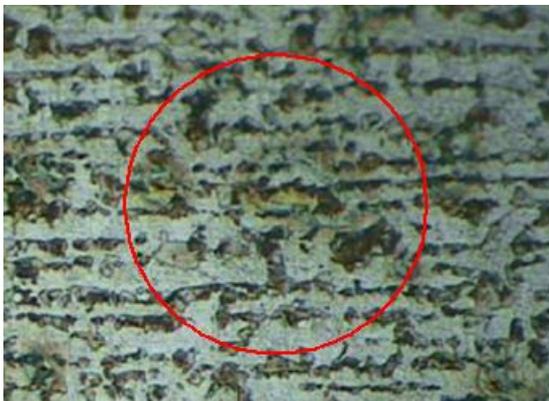
Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	24,6
FERRITA	75,4

Determinación del tamaño de grano



Cálculos

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(45 + \frac{31}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 60,5 = 484$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(484) - 2,954$$

$$G = 5,96 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 75,4% de Ferrita y 24,6% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 5,96 \cong 6

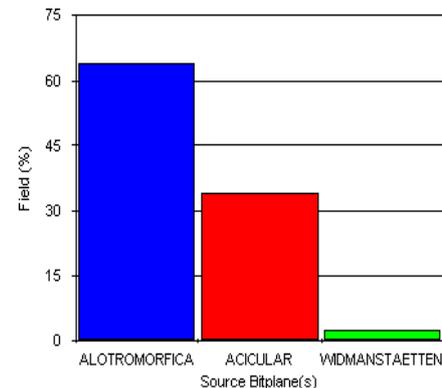
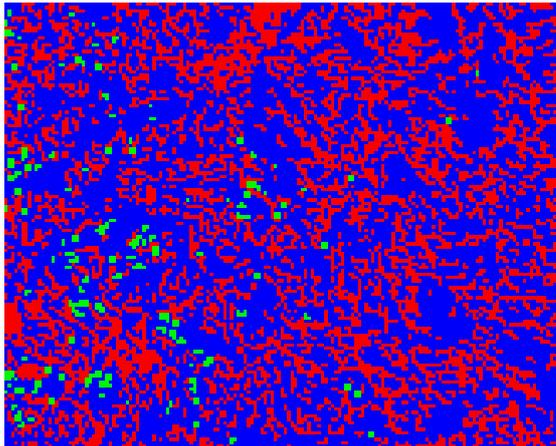


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
ALOTROMORFICA	63,9
ACICULAR	34,0
WIDMANSTAETTEN	2,1

Determinación del tamaño de grano



Cálculos

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(82 + \frac{45}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 104,5 = 836$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(836) - 2,954$$

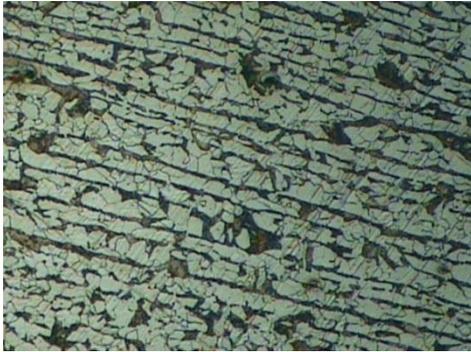
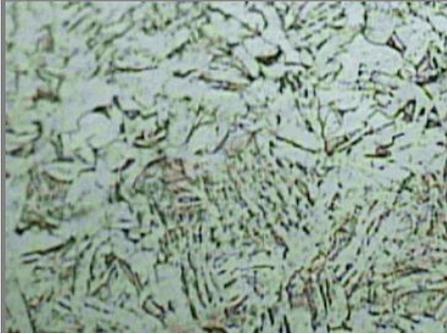
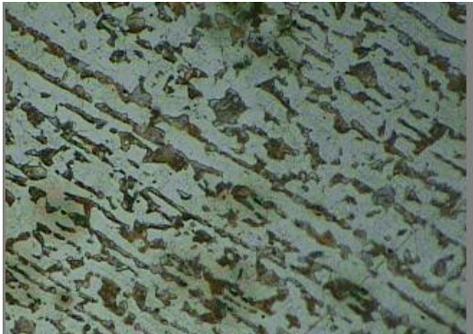
$$G = 6,75 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂ se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 63,9% de Ferrita Alotriomórfica (a), 34 % de Ferrita Acicular (aa), y 2,1% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es $6,75 \cong 7$

4.2.4.3 Análisis metalográfico de las junta soldadas de Acero ASTM A 588 con el proceso SMAW

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ENSAYO METALOGRAFICO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: SMAW	
Probeta: SM-1	Cuidad: Ambato	
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014	
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO		
Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min	
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Durante: 8 s	
RESULTADO:		
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON E-6010 Y E-7018		
		
METAL BASE		
		
SOLDADURA	ZAT	



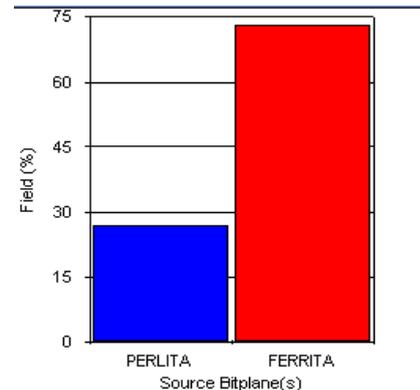
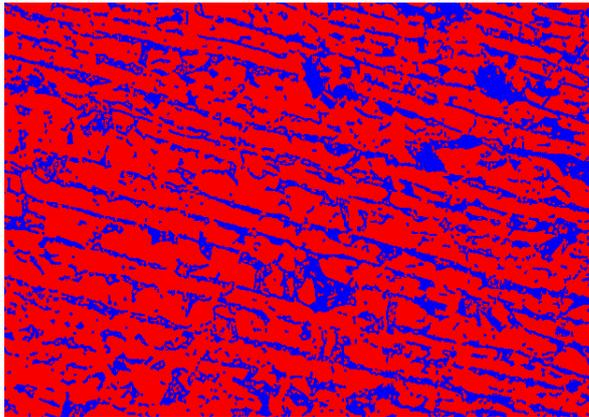
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E112

Magnificación: 200x

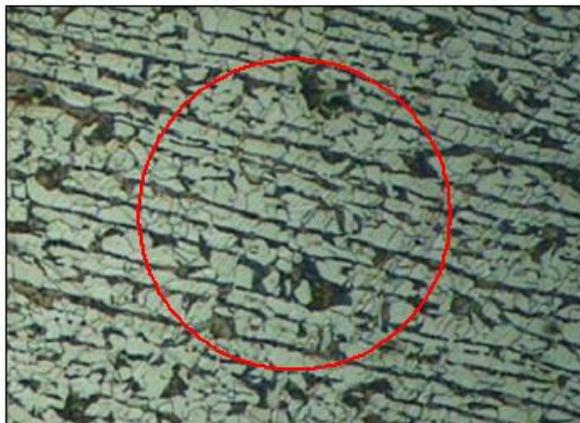
Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	26,9
FERRITA	73,1

Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(57 + \frac{46}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 80 = 640$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(640) - 2,954$$

$$G = 6,37 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de material base son: 73,1% de Ferrita y 26,9% de Perlita.

El tamaño de grano es $6,37 \cong 6$



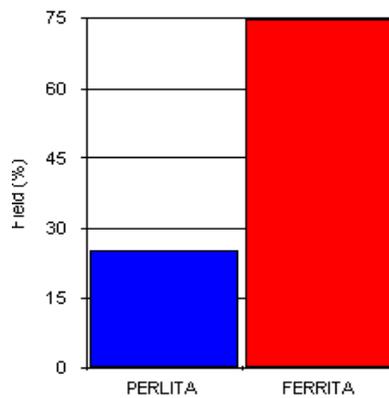
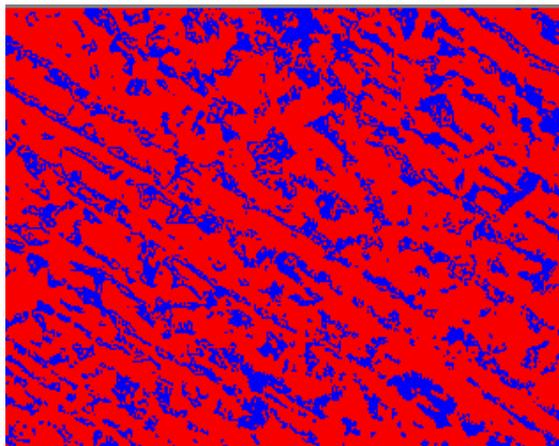
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E 112

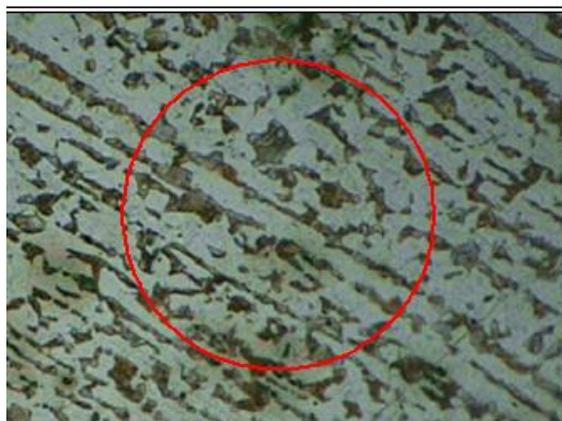
Magnificación: 200x

Porcentaje



Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(50 + \frac{32}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 66 = 528$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(528) - 2,954$$

$$G = 6,09 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 74,8% de Ferrita y 25,2% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

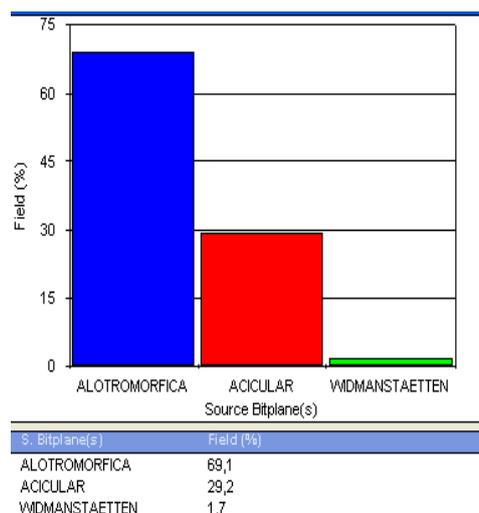
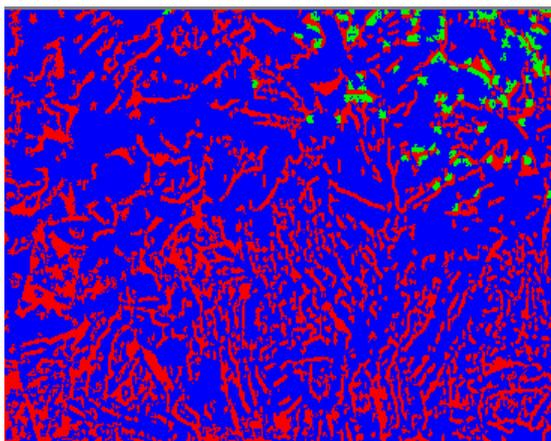
El tamaño de grano es $6,09 \cong 6$



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

Magnificación: 200x



Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(77 + \frac{42}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 98 = 784$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(784) - 2,954$$

$$G = 6,66 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 69,1% de Ferrita Alotriomórfica (a), 29,2 % de Ferrita Acicular (aa), y 1,7% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es $6,66 \cong 7$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO METALOGRÁFICO

DATOS INFORMATIVOS:

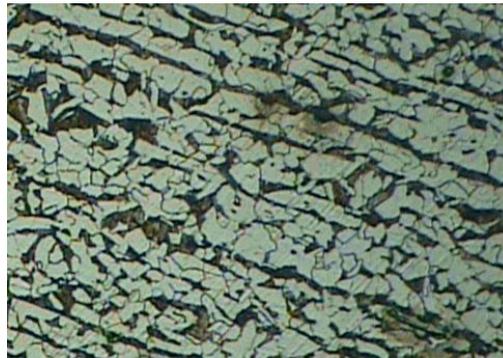
Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: SMAW
Probeta: SM-2	Cuidad: Ambato
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Durante: 8 s

RESULTADO:

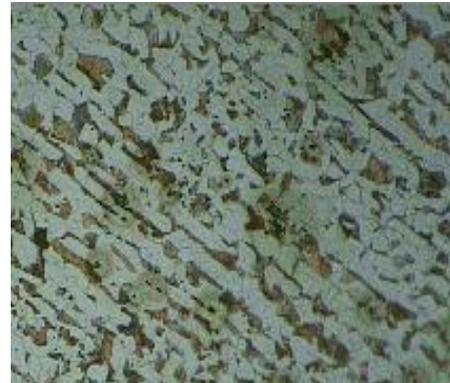
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON E-6010 Y E-7018



METAL BASE



SOLDADURA

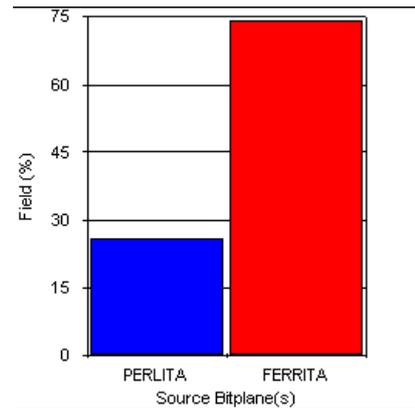
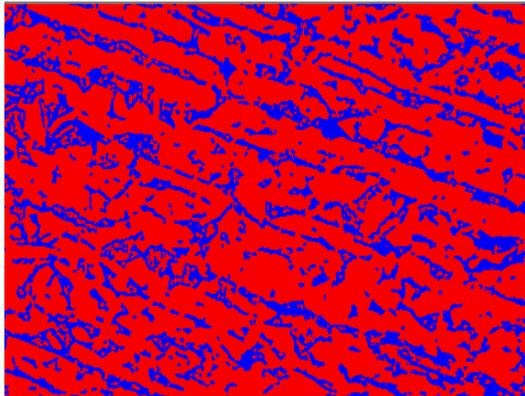


ZAT



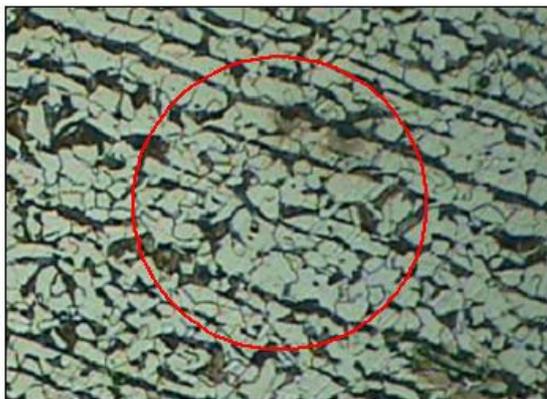
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Ferrita y Perlita	Método: ASTM E 112
Magnificación: 200x	Porcentaje



Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(55 + \frac{40}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 75 = 600$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(600) - 2,954$$

$$G = 6,27 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de material base son: 74,1% de Ferrita y 25,9% de Perlita.

El tamaño de grano es $6,27 \cong 6$



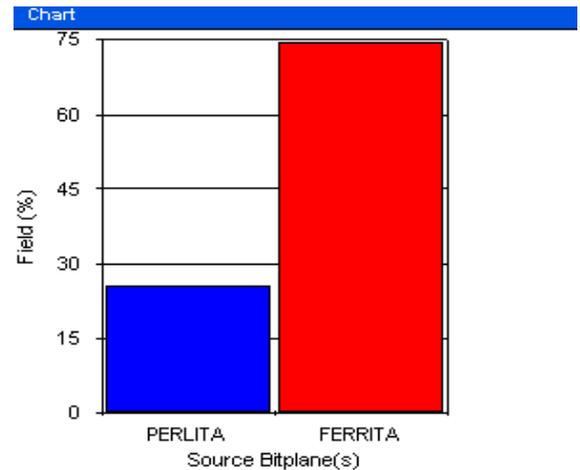
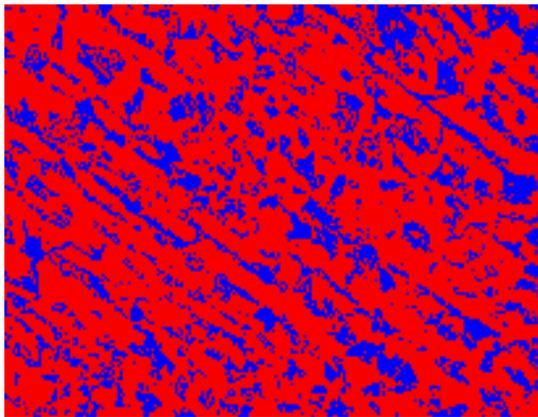
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Componentes: Ferrita y Perlita

Método: ASTM E112

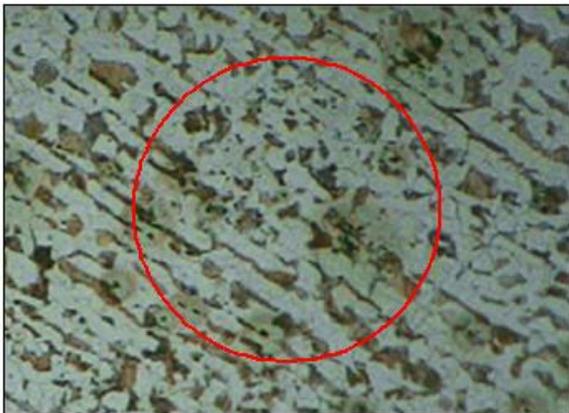
Magnificación: 200x

Porcentaje



Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(57 + \frac{41}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 77,5 = 620$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(620) - 2,954$$

$$G = 6,32 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado) , se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 74,5% de Ferrita y 25,5% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es $6,32 \cong 6$

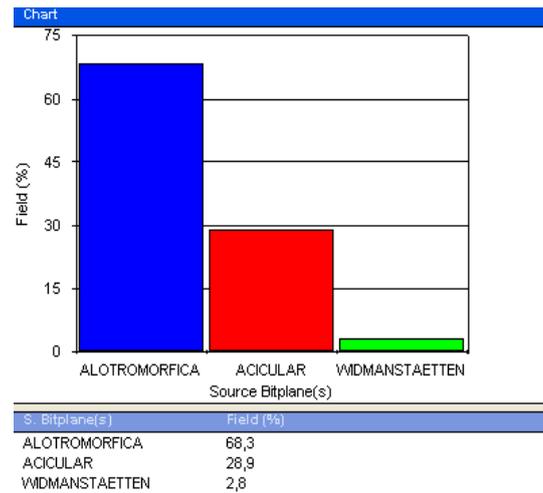
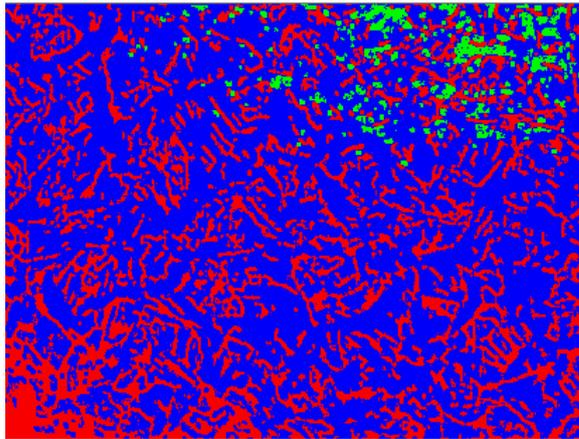


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

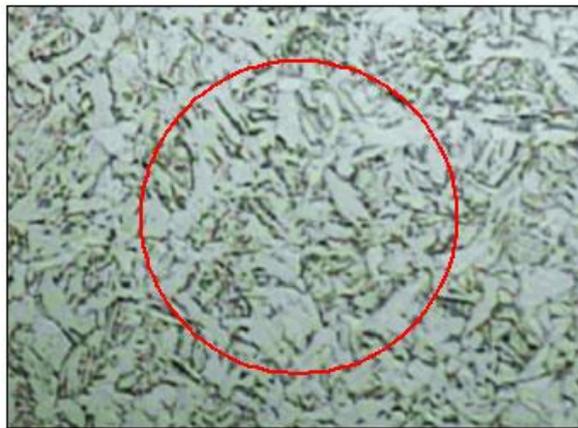
Magnificación: 200x

Porcentaje



Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(70 + \frac{39}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 89,5 = 716$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(456) - 2,954$$

$$G = 6,53 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 68,3% de Ferrita Alotriomórfica (a), 28,9 % de Ferrita Acicular (aa), y 2,8% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es $6,53 \cong 7$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO METALOGRÁFICO

DATOS INFORMATIVOS:

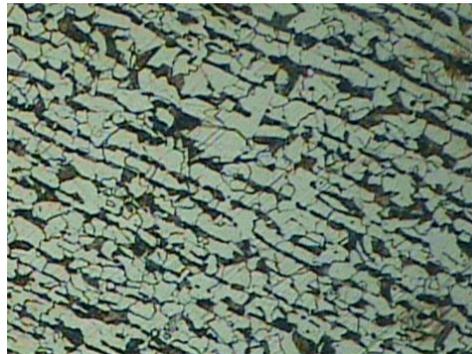
Tipo de estudio: De laboratorio	Proceso de soldadura: SMAW
Probeta: SM-3	Cuidad: Ambato
Solicitado por: UTA - FICM	Fecha: 06/03/2014
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por: Jaime Sailema	Supervisado por: Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

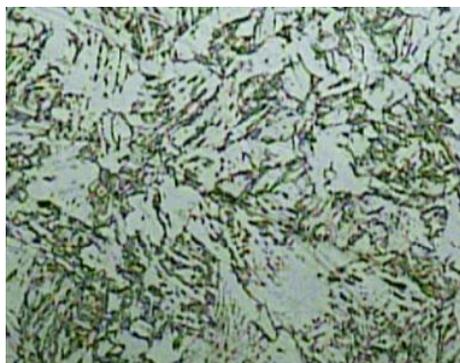
Material a ser preparado: ASTM A 588	Pulido: Pulido Mecánico
Temperatura durante el pulido: 20°C	Superficie preparada en: 50 min
Ataque Químico de la superficie : Nital 4	Durante: 8 s

RESULTADO:

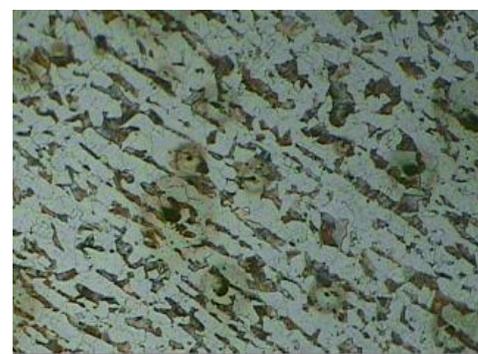
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A 588 CON E-6010 Y E-7018



METAL BASE



SOLDADURA



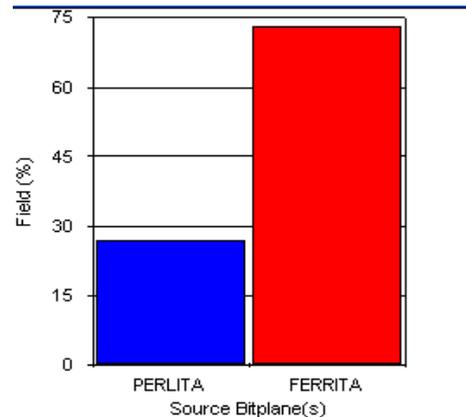
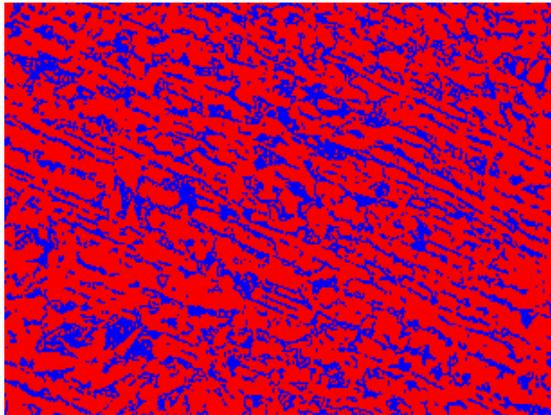
ZAT



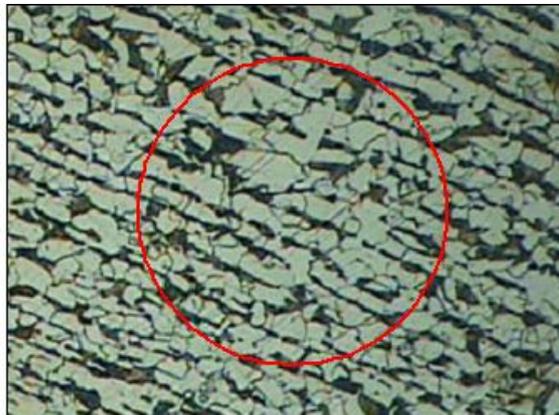
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Componentes: Ferrita y Perlita **Método:** ASTM E 112

Magnificación: 200x **Porcentaje**



Determinación del tamaño de grano **Cálculos**



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(57 + \frac{39}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries } (200x)$$

$$NA = 8 * 76,5 = 612$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(612) - 2,954$$

$$G = 6,30 \cong 6$$

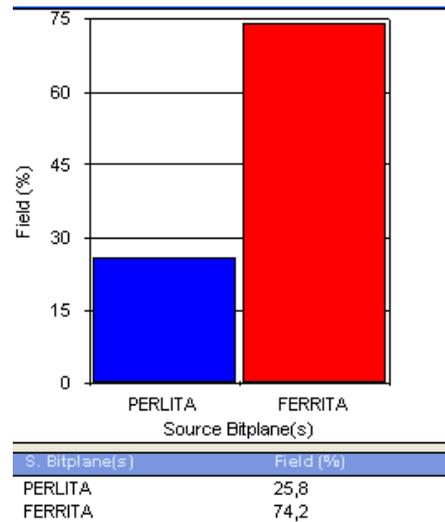
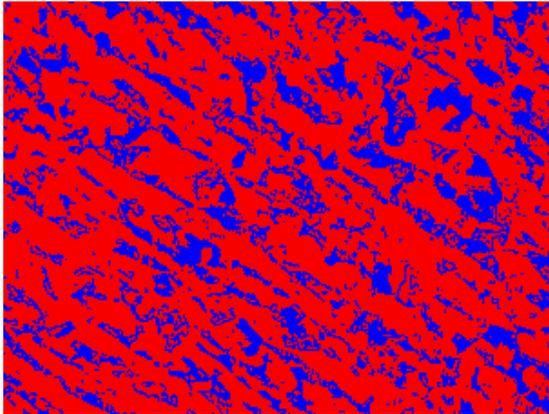
Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de material base son: 73,2% de Ferrita y 26,8% de Perlita.
El tamaño de grano es $6,30 \cong 6$

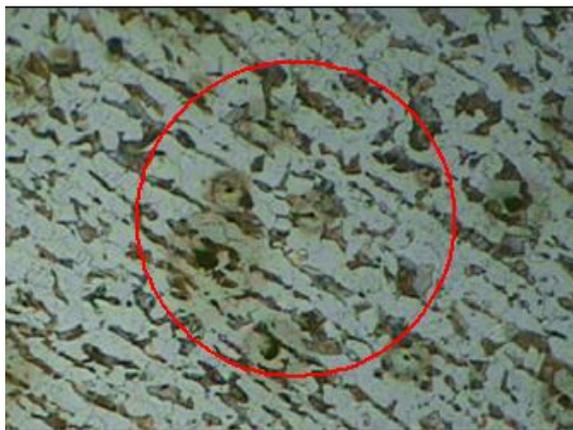


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Componentes: Ferrita y Perlita	Método: ASTM E 112
Magnificación: 200x	Porcentaje



Determinación del tamaño de grano	Cálculos
--	-----------------



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(54 + \frac{40}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 74 = 592$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(592) - 2,954$$

$$G = 6,26 \cong 6$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado) , se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 74,2% de Ferrita y 25,8% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es $6,26 \cong 6$

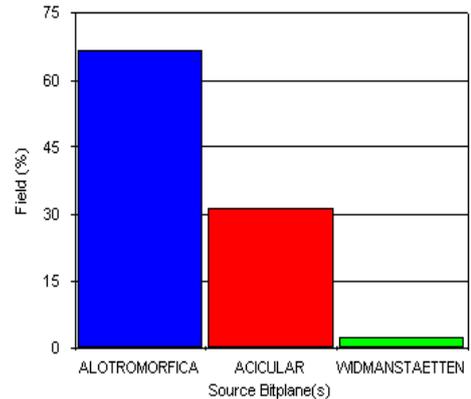
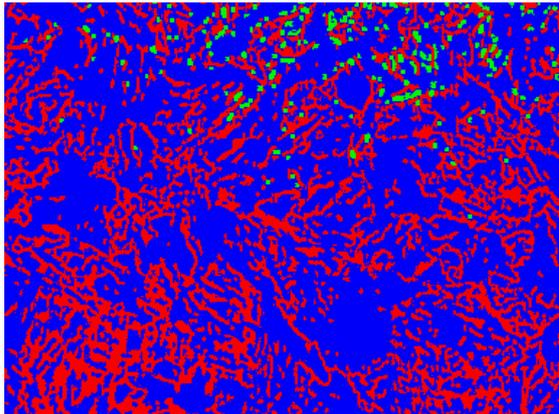


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (a), Ferrita Acicular (aa), Ferrita de Widmanstaetten (aw)

Magnificación: 200x

Porcentaje



S. Bitplane(s)	Field (%)
ALOTROMORFICA	66,7
ACICULAR	31,2
WIDMANSTAETTEN	2,1

Determinación del tamaño de grano

Cálculos



$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} = f \left(73 + \frac{37}{2} \right) \right)$$

$$f = 8 \text{ por. jeffries (200x)}$$

$$NA = 8 * 91,5 = 732$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2,954$$

$$G = 3,321918 * \log(732) - 2,954$$

$$G = 6,56 \cong 7$$

Interpretación de Resultados

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero ASTM A588 soldadas con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 66,7% de Ferrita Alotriomórfica (a), 31,2 % de Ferrita Acicular (aa), y 2,1% de Ferrita de Widmanstaetten (aw).

El tamaño de grano es $6,56 \cong 7$

4.2.5.1 Análisis Macrográfico de las junta soldadas a filete del Acero ASTM A 588 con el proceso FCAW

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO			
				REG:JF-M	
ENSAYO MACROGRÁFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Norma Aplicable: AWS D.15		Probeta: FC-1MG		Proceso de soldadura: FCAW	
Metal base: ASTM A588		Alma: 12 mm		Patín: 20 mm	
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional					
Técnica de Soldadura: Filete		Tipo de junta: En T		Posición de soldadura: 3F	
Material de aporte: Alambre E81T1-Ni1				Gas protector : CO ₂	
Responsable: Jaime Sailema		Fecha: 01/10/2013		Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes	
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO					
					
Pase simple		Pase múltiple			
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:		
FC-1M	Pase simple	$X1=9,0$ $Y1=13,1$ $\Delta l = 4,1$ $C1= 2,5$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.		
	Pase múltiple	$X2=11,8$ $Y2=16,2$ $\Delta l = 4,4$ $C2=2,4$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras		
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					



RESULTADOS :	
OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta buena penetración en la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura.	APRUEBA

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO		
ENSAYO MACROGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: FC-2MG	Proceso de soldadura: FCAW	
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm	
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional			
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F	
Material de aporte: Alambre E81T1-Ni1		Gas protector : CO2	
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes	
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO			
			
Pase simple		Pase múltiple	

ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
FC-2M	Pase simple	X1=8,7 Y1=13,2 $\Delta l = 4,5$ C1= 2,2	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
	Pase múltiple	X2=11,6 Y2=15,4 $\Delta l = 4,2$ C2=2,4	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



RESULTADOS :

OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta buena penetración en la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura.	APRUEBA

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO		
			REG: JF-M
ENSAYO MACROGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: FC-3MG	Proceso de soldadura: FCAW	
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm	
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional			
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F	
Material de aporte: Alambre E81T1-Ni1		Gas protector : CO2	
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. MG. Juan Paredes	
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO			
 Pase simple		 Pase múltiple	
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
FC-3M	Pase simple	$X1=12,8$ $Y1=12,4$ $\Delta l = 0,4$ $C1= 0,6$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
	Pase múltiple	$X2=12,4$ $Y2=16,5$ $\Delta l = 4,1$ $C2=1,4$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO			



RESULTADOS :

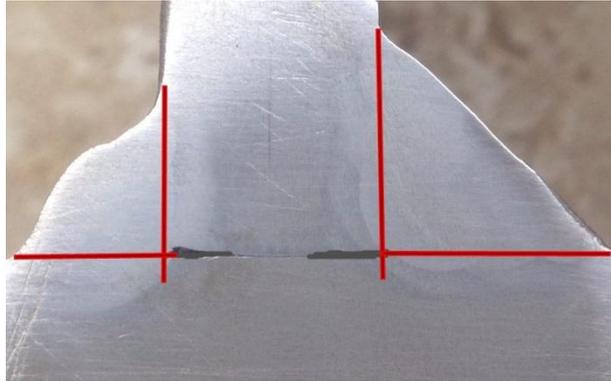
OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta buena penetración en la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura.	APRUEBA

	<p>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO</p>	 REG: JF-M
ENSAYO MACROGRÁFICO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: FC-4MG	Proceso de soldadura: FCAW
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F
Material de aporte: Alambre E81T1-Ni1		Gas protector : CO2
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO		

 <p>Pase simple</p>		 <p>Pase múltiple</p>	
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
FC-4M	Pase simple	$X1=11,7$ $Y1=13,2$ $\Delta l = 1,5$ $C1= 1,4$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
	Pase múltiple	$X2=12,2$ $Y2=16,5$ $\Delta l = 4,3$ $C2=2,2$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO			
			
RESULTADOS :			
OBSERVACIONES:			CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
<p>La macrografía presenta buena penetración en la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura.</p>			<p>APRUEBA</p>

4.2.5.2 Análisis Macrográfico de las junta soldadas a filete del Acero ASTM A 588 con el proceso SMAW

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO		
ENSAYO MACROGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: SM-1MG	Proceso de soldadura: SMAW	
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm	
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional			
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F	
Material de aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)			
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes	
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO			
 <p>Pase simple</p>		 <p>Pase múltiple</p>	
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
SM-1M	Pase simple	$X1=910$ $Y1=12$ $\Delta l = 4$ $C1= 2$	Cordón de soldadura uniforme, pero con mordeduras y pequeños poros en su longitud.
	Pase múltiple	$X2=12$ $Y2=17$ $\Delta l = 5,2$ $C2=2,8$	Cordón de soldadura uniforme, pero con mordeduras y pequeños poros en su longitud.
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO			



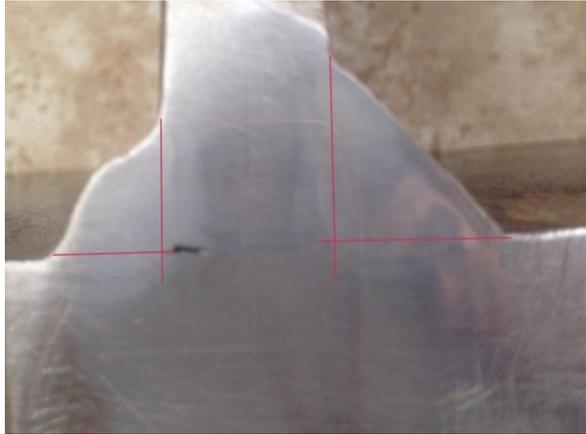
RESULTADOS :

OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta poca penetración entre el cordón de soldadura y el metal base, también existe bastante carboncillo en la raíz.	NO APRUEBA

	<p>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO</p>	 REG:JF-M
ENSAYO MACROGRÁFICO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: SM-2MG	Proceso de soldadura: SMAW
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F
Material de aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)		
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO		

 <p>Pase simple</p>		 <p>Pase múltiple</p>	
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
SM-2M	Pase simple	X1=8,5 Y1=13,7 $\Delta l = 4,7$ C1= 2,7	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
	Pase múltiple	X2=12,7 Y2=16,4 $\Delta l = 4,8$ C2=2,6	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO			
			
RESULTADOS :			
OBSERVACIONES:			CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa carboncillo en la raíz			APRUEBA

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO		
			REG:JF-M
ENSAYO MACROGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: SM-3MG	Proceso de soldadura: SMAW	
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm	
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional			
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F	
Material de aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)			
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes	
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO			
 Pase simple		 Pase múltiple	
ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
SM-3M	Pase simple	$X1=11,6$ $Y1=12,6$ $\Delta l = 0,7$ $C1= 0,8$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
	Pase múltiple	$X2=12,6$ $Y2=16,5$ $\Delta l = 4,2$ $C2=1,8$	Cordón de soldadura de buena uniformidad, buena penetración libre de porosidades y mordeduras.
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO			



RESULTADOS :

OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa carboncillo en la raíz	APRUEBA

	<p>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MACROGRAFIAS DEL ACERO UTILIZADO</p>	 REG:JF-M
ENSAYO MACROGRÁFICO		
DATOS INFORMATIVOS:		
Norma Aplicable: AWS D.15	Probeta: SM-4MG	Proceso de soldadura: SMAW
Metal base: ASTM A588	Alma: 12 mm	Patín: 20 mm
Laboratorio: Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional		
Técnica de Soldadura: Filete	Tipo de junta: En T	Posición de soldadura: 3F
Material de aporte: Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)		
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 01/10/2013	Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes
ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO		



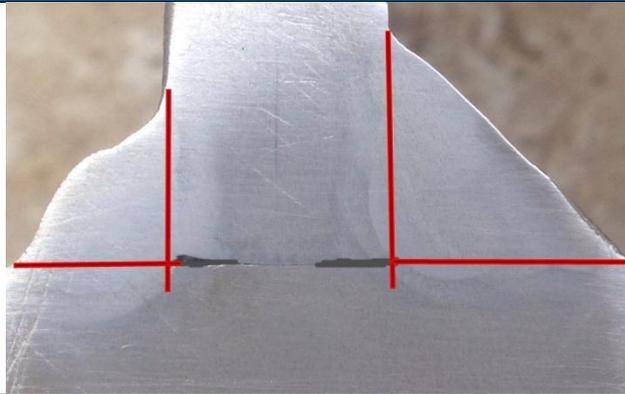
Pase simple



Pase múltiple

ID.	LADO DE INSPECCIÓN	LONGITUD PROM. DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES:
SM-4M	Pase simple	X1=10,1 Y1=11,1 $\Delta l = 0,5$ C1= 0,9	Cordón de soldadura uniforme, pero con mordeduras y pequeños poros en su longitud.
	Pase múltiple	X2=12,4 Y2=15,7 $\Delta l = 5,2$ C2=2,6	Cordón de soldadura uniforme, pero con mordeduras y pequeños poros en su longitud.

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



RESULTADOS :

OBSERVACIONES:	CRITÉRIO DE ACEPTACIÓN:
La macrografía presenta poca penetración entre el cordón de soldadura y el metal base, también existe bastante carboncillo en la raíz.	NO APRUEBA

4.3. Interpretación de los resultados

4.3.1 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción de la probeta plana en la junta soldada.

Tabla 4. 1 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂

INDEN.	CARGA MÁXIMA SOPORTADA		RESIS. LA TRACCIÓN		L. FLUENCIA	OBS.	CALIF.
	lbf	N	Ksi	MPa	MPa		
T1	41,600	185,046	82,0	565	480,25	FMB	Aprueba
T2	51,400	228,639	83,6	577	490,45	FMB	Aprueba
PROM.	46,5	206,842	82,8	571	485,35		

FBM: Falla metal base

Fuente: Autor

Tabla 4. 2 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E7018 (acabado).

INDEN.	CARGA MÁXIMA SOPORTADA		RESIS. LA TRACCIÓN		L. FLUENCIA	OBS.	CALIF.
	lbf	N	Ksi	MPa	MPa		
T1	44,200	196,611	80,2	553	470,05	FMB	Aprueba
T2	49,700	221,077	82,7	570,1	484,585	FMB	Aprueba
PROM.	46,95	208,844	81,45	561,55	477,317		

FBM: Falla metal base

Fuente: Autor

Comparar los resultados de las probetas entre los procesos FCAW material de aporte E81T1-Ni1, con gas protector CO₂ y SMAW con material de aporte E6011 (raíz) y E 7018 (acabado).

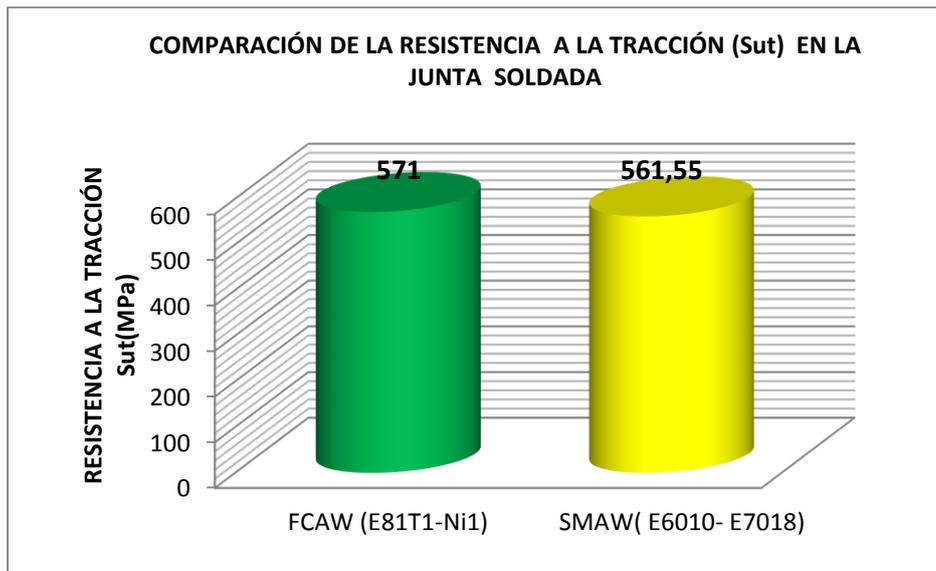


Figura 4. 1 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.

Fuente: Autor

En la figura 4.1 se observa en el proceso FCAW la soldadura del acero ASTM A 588 Grado A con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ el valor promedio de la resistencia a la tracción es 571MPa , mientras que en el proceso SMAW la soldadura del mismo acero con combinación de electrodo E6010(raíz) y E 7018(acabado) la Resistencia a la tracción promedio es 561,55 MPa. Esto indica que el acero ASTM A588 soldado con el proceso FCAW tiene mayor Resistencia a la tracción que en el proceso SMAW.

4.3.2 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción de la probeta circular en el cordón de soldadura.

Tabla 4. 3 Resultados de los ensayos de tracción de la probeta circular de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂

INDEN.	CARGA MÁXIMA SOPORTADA		LÍMITE DE FLUENCIA (Sy)		RESIS. A LA TRACCIÓN (Sut)		ELON. (50mm)	OBS.	CALIF.
	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa			
M.A			68	470	80	550	19		
R1	18,750	83,404	80,1	552,3	95,5	658,4	27,58	FMB	Aprueba

FMB: Falla metal base

Fuente: Autor

Tabla 4. 4 Resultados de los ensayos de tracción de la probeta circular de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E7018 (acabado).

INDEN.	CARGA MÁXIMA SOPORTADA		LÍMITE DE FLUENCIA (Sy)		RESIS. A LA TRACCIÓN (Sut)		ELON. (50mm) %	OBS.	CALIF.
	lbf	N	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa			
M.A			58	399	70	482	22		
R1	17,150	76,287	73,5	506,8	87,8	605,1	26,78	FMB	Aprueba

FBM: Falla metal base

Fuente: Autor

Comparar los resultados de la resistencia a la tracción (Sut), límite de fluencia (Sy) y el porcentaje(%) de elongación de las probetas entre los procesos FCAW material de aporte E81T1-Ni1, con gas protector CO₂ y SMAW con combinación de electrodo E6011 (raíz) y E 7018 (acabado).

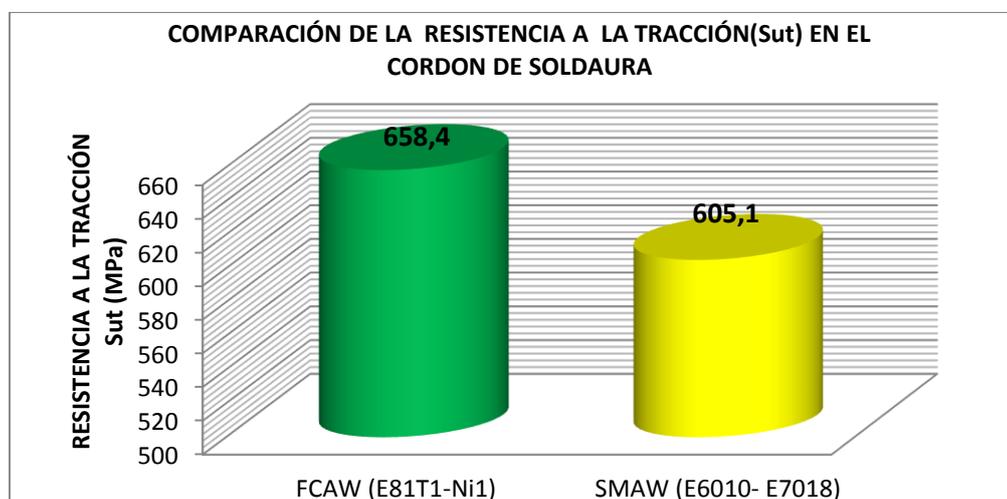


Figura 4. 2 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.

Fuente: Autor

En la figura 4.2 se observa en el proceso FCAW la soldadura del acero ASTM A 588 Grado-A con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ el valor de la resistencia a la tracción es 658,4MPa, mientras que en el proceso SMAW la soldadura del mismo acero con combinación de electrodo E6010(raíz) y E 7018(acabado) la

Resistencia a la tracción es 605,1MPa. Esto indica que el acero ASTM A588 soldado con el proceso FCAW tiene mayor Resistencia a la tracción a relación que en el proceso SMAW.

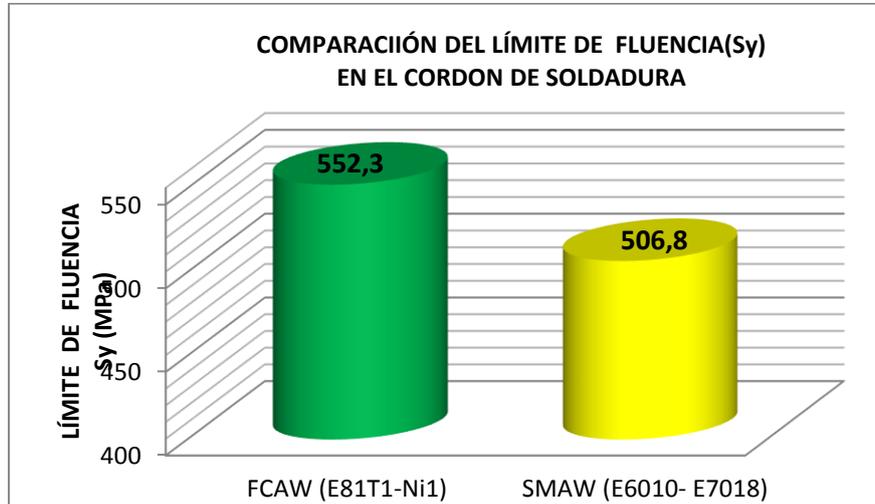


Figura 4. 3 Comparación de Límite de fluencia (Sy) del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

En la figura 4.3 se observa en el proceso FCAW la soldadura del acero ASTM A 588 Grado-A con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ el valor del límite de fluencia es 552,3MPa mientras que en el proceso SMAW la soldadura del mismo acero con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E 7018(acabado) el límite de fluencia es 506,8MPa. Esto indica que el acero ASTM A588 soldado con el proceso FCAW tiene mayor Resistencia a la tracción a relación que en el proceso SMAW.

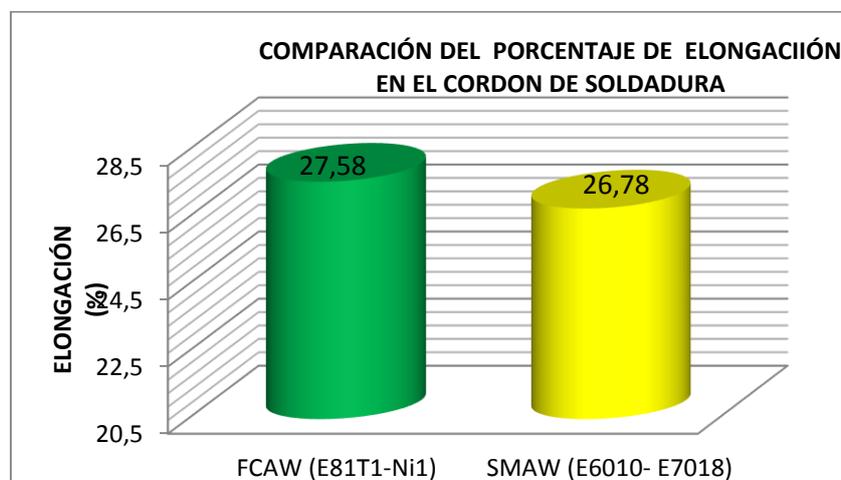


Figura 4. 4 Comparación de Porcentaje de Elongación del acero A588 entre proceso FCAW y SMAW.
Fuente: Autor

En la figura 4.4 se observa en el proceso FCAW la soldadura del acero ASTM A 588 Grado-A con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ el porcentaje de elongación es 27,58%. Mientras que en el proceso SMAW la soldadura del mismo acero con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E 7018(acabado) el porcentaje de elongación es 26,78%. Esto indica que el acero ASTM A588 soldado con el proceso FCAW tiene una diferencia ligeramente mayor de porcentaje de elongación a relación que en el proceso SMAW.

4.3.3 Interpretación de los resultados del ensayo de doblez guiado.

Tabla 4. 5 Resultados de los ensayos de doblez laterales de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂

IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES	APROBACIÓN
FDG-1	Se observa una indicación abierta de 0,7mm, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
FDG-2	No se observa ninguna indicación abierta, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
FDG-3	Se observa una indicación abierta de 2,4mm, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
FDG-4	No se observa ninguna indicación abierta, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI

Fuente: Autor

Tabla 4. 6 Resultados de los ensayos de dobles lateral de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado).

IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES	APROBACIÓN
SDG-1	Se observa una indicación abierta de 2,39mm y 7,23mm, lo que indica que no se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	NO
SDG-2	No se observa ninguna indicación abierta, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
SDG-3	No se observa ninguna indicación abierta, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
SDG-4	Se observa una indicación abierta de 3,52 y 4,61mm, lo que indica que no se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	NO

Fuente: Autor

Comparar los resultados de las probetas sujetas al ensayo de dobles entre los procesos FCAW soldadas con material de aporte E81T1-Ni1, con gas protector CO₂ y SMAW soldadas con combinación de electrodo E6011 (raíz) y E 7018 (acabado).

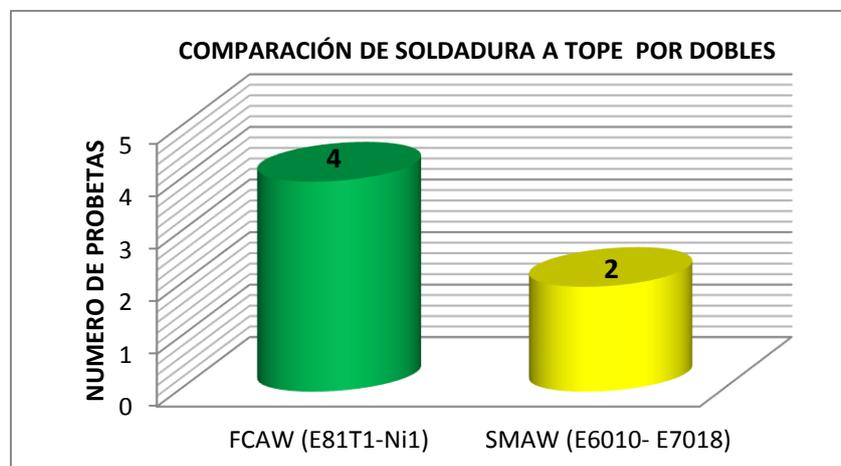


Figura 4. 5 Comparación de los procesos FCAW y SMAW del ensayo dobles guiado del acero A588 con soldadura a Tope

Fuente: Autor

En la figura 4.5 indica que en el proceso FCAW las probetas sujetas al ensayo de dobles guiado fueron cuatro las cuales aprobaron todas. Mientras que en el proceso SMAW aprobaron dos de las cuatro probetas ensayadas. Esto indica que las probetas

del proceso de soldadura FCAW soportaron más al ensayo de dobles guiado en comparación con el proceso SMAW.

4.3.4 Interpretación de los resultados del ensayo de Impacto.

Los resultados de impacto se observa en las tablas 4.7 y 4.8.

Tabla 4. 7 Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero ASTM 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂.

IDENTIFICACIÓN	ENERGÍA DE IMPACTO		OBSERVACIÓN
	lbf- ft	J	
FCH-1	36	48,8	SE ELIMINA
FCH-2	36	48,8	APRUEBA
FCH-3	52	70,5	APRUEBA
FCH-4	52	70,5	SE ELIMINA
FCH-5	42	56,9	APRUEBA
PROMEDIO	43	58,8	APRUEBA

Fuente: Autor

Tabla 4. 8 Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero ASTM 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado).

IDENTIFICACIÓN	ENERGÍA DE IMPACTO		OBSERVACIÓN
	lbf- ft	J	
SCH-1	20	27,1	APRUEBA
SCH-2	34	46,1	APRUEBA
SCH-3	14	19	SE ELIMINA
SCH-4	28	38	APRUEBA
SCH-5	54	73,2	SE ELIMINA
PROMEDIO	27	37,1	APRUEBA

Fuente: Autor

Obtenidos los datos procedemos a comparar los resultados promedios de la energía de impacto entre los procesos FCAW y SMAW.

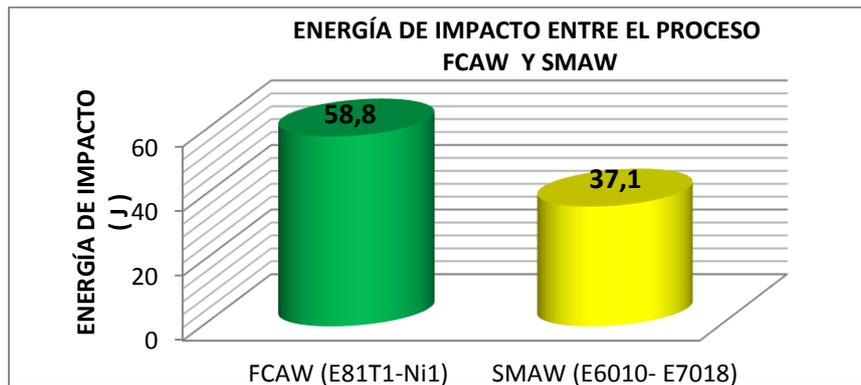


Figura 4. 6 Comparación de la energía de impacto entre el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

La figura 4.6 indica que la energía de rotura de impacto de la soldadura de acero ASTM A588 con material de aporte E 81T1-Ni1 y con gas protector CO₂ tiene un valor promedio de 58,8 Joules, mayor que el valor promedio de la soldadura con el mismo acero, pero con combinación de electrodos E 6010 (raíz) y E 7018 (acabado) que tiene una energía de rotura de impacto 37,1 Joules.

4.3.5 Interpretación de los resultados del ensayo Metalográfico.

Tabla 4. 9 Resultados tamaño de grano de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂.

	TAMAÑO DE GRANO		
	METAL BASE	ZAT	SOLDADURA
PROBETA 1	6,35	5,15	6,60
PROBETA 2	6,39	6,045	6,69
PROBETA 3	6,39	5,96	6,75
PROMEDIO	6,37	5,71	6,68

Fuente: Autor

Tabla 4. 10 Resultados tamaño de grano de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado).

	TAMAÑO DE GRANO		
	METAL BASE	ZAT	SOLDADURA
PROBETA 1	6,37	6,09	6,66
PROBETA 2	6,27	6,32	6,53
PROBETA 3	6,30	6,26	6,56
PROMEDIO	6,31	6,22	6,58

Fuente: Autor

Tabla 4. 11 Resultados del porcentaje de Perlita de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂, en la ZAT y en el metal base

	PORCENTAJE DE PERLITA	
	METAL BASE	ZAT
PROBETA 1	25,9	23,1
PROBETA 2	26,5	25,3
PROBETA 3	25,7	24,6
PROMEDIO	26,03	24,33

Tabla 4. 12 Resultados del porcentaje de Perlita de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), en la ZAT y en el metal base

	PORCENTAJE DE PERLITA	
	METAL BASE	ZAT
PROBETA 1	26,9	25,2
PROBETA 2	25,9	25,5
PROBETA 3	26,8	25,8
PROMEDIO	26,53	25,50

Fuente: Autor

Tabla 4. 13 Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂, en el depósito de soldadura

	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	FERRITA ALOTROMORFICA	FERRITA ACICULAR
PROBETA 1	67,8	29,6
PROBETA 2	63,6	34,2
PROBETA 3	63,9	34
PROMEDIO	65,10	32,60

Fuente: Autor

Tabla 4. 14 Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero ASTM A 588 soldadas con el proceso SMAW con combinación de electrodo E 6010 (raíz) y E7018 (acabado), en el depósito de soldadura

	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	FERRITA ALOTROMORFICA	FERRITA ACICULAR
PROBETA 1	69,1	29,2
PROBETA 2	68,3	28,9
PROBETA 3	66,7	31,2
PROMEDIO	68,03	29,77

Fuente: Autor

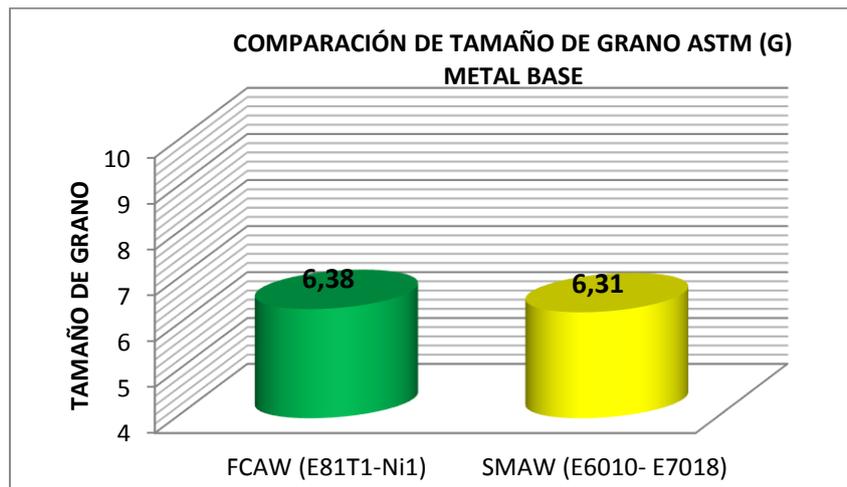


Figura 4. 7 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base

Fuente: Autor

La figura 4.7 muestra que el valor del tamaño de grano ASTM en el metal base de las juntas soldada entre los procesos FCAW y SMAW los valores son similares ya que en las dos juntas soldadas se utiliza el mismo acero A588.

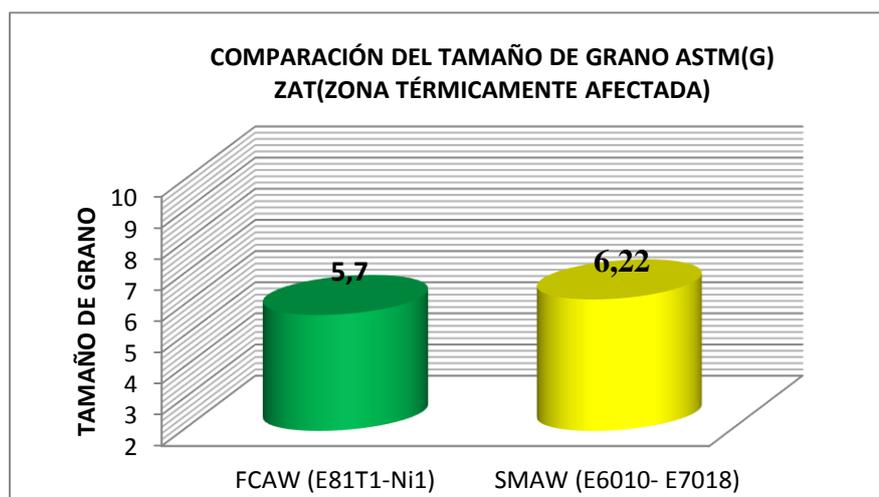


Figura 4. 8 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la zona térmicamente afectada (ZAT)

Fuente: Autor

En la figura 4.8 se observa el comportamiento del tamaño de grano en la ZAT de las juntas soldadas entre los dos procesos en el mismo acero A588, esto indica que el valor del tamaño de grano ASTM hay una diferencia levemente de 5,7 en el proceso FCAW mientras que en el proceso SMAW es de 6,22.

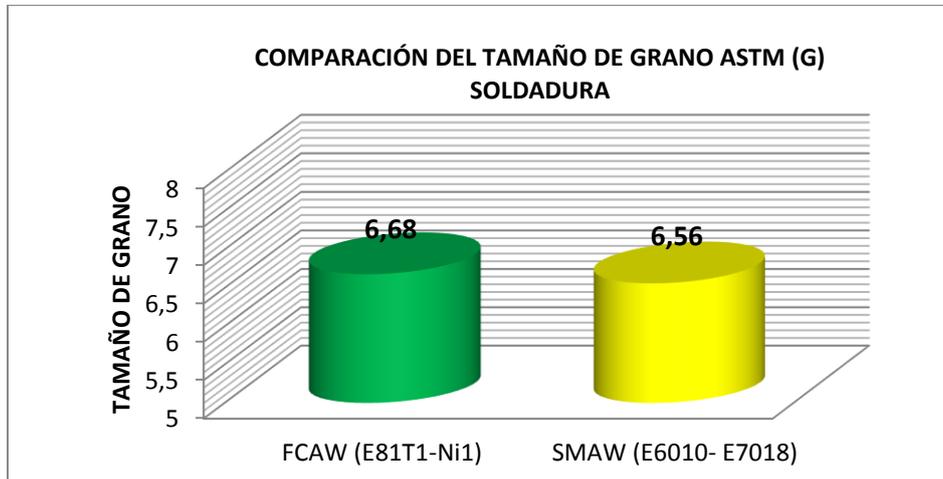


Figura 4. 9 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura
Fuente: Autor

La figura 4.9 indica que el valor del tamaño de grano ASTM en el depósito de soldadura de las juntas soldadas en el mismo acero, pero con diferente proceso de soldadura, el mayor valor es de 6,68 en el proceso FCAW, mientras que en el proceso SMAW es de 6,56. Esto indica que en el proceso FCAW el grano es más fino.

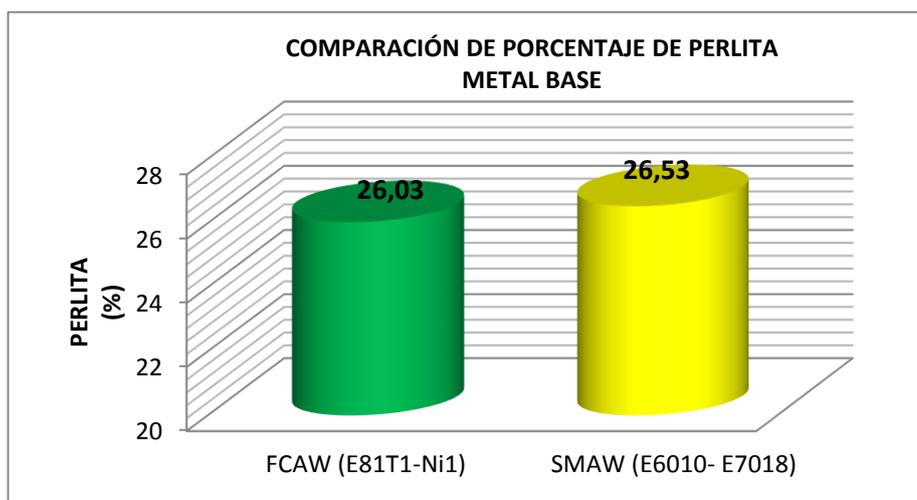


Figura 4. 10 Comparación de porcentaje de perlita en el metal base con el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

En la figura 4.10 se puede visualizar que el contenido de perlita en el metal base de las probetas de soldadura de acero ASTM A588 con alambre E81T1-Ni1, con gas de aporte CO₂ presenta un valor de 26.03% en el proceso FCAW a diferencia que en el proceso SMAW con combinación de electrodo E6010 (raíz) y E7018 (acabado) presenta un 26,53% lo que indica q hay una pequeña diferencia entre los dos procesos.

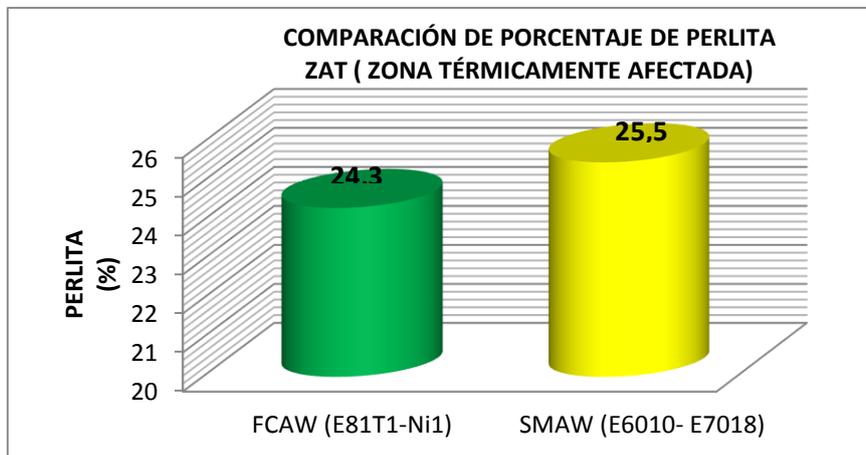


Figura 4. 11 Comparación de porcentaje de perlita en la zona térmicamente afectada (ZAT), con el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

La figura 4.11 muestra el contenido de perlita en la ZAT de las juntas soldadas de acero ASTM 588 entre los dos procesos de soldadura con diferente material de aporte. Esto indica que existe una ligera diferencia de porcentaje de perlita entre cada proceso de soldadura.

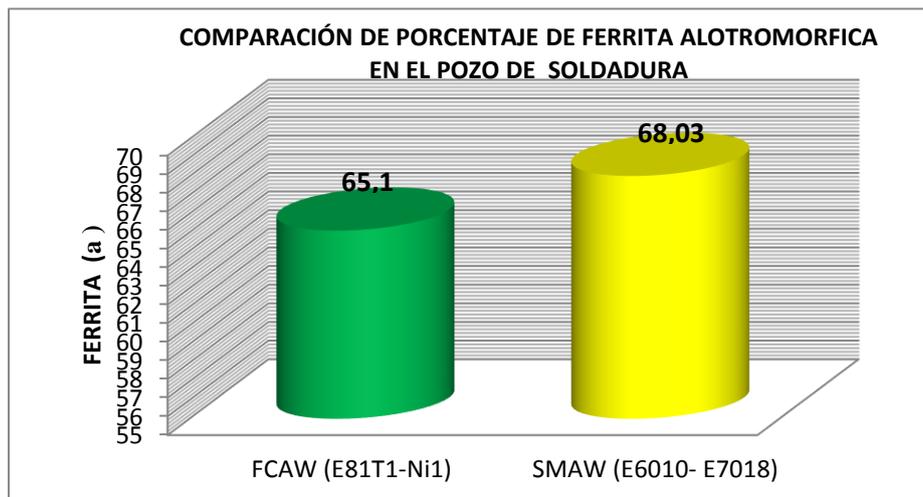


Figura 4. 12 Comparación de porcentaje de ferrita alotrópica en el pozo de soldadura con el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

La figura 4.12 indica que el porcentaje ferrita alotriomórfica en el pozo de soldadura de las juntas soldadas de acero ASTM A588 con el proceso FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1, gas protector CO₂ presenta un 65,1% a diferencia que en el proceso SMAW con material de aporte combinación de electrodo E 6010(raíz) E 7018(acabado) que presenta un 68,03%. Esto indica q en el proceso SMAW presenta mayor porcentaje de ferrita alotromórfica.

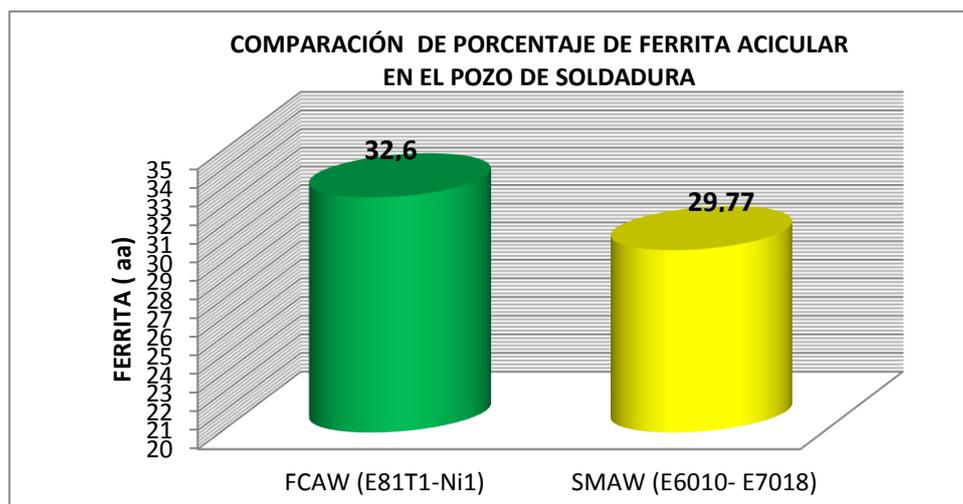


Figura 4. 13 Comparación de porcentaje de ferrita acicular en el pozo de soldadura con el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

4.3.6 Interpretación de los resultados del ensayo Macrográfico.

Tabla 4. 15 Resultados de los ensayos macrográficos de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso FCAW con aporte de material E 81T1-Ni1 y gas protector CO₂

MUESTRA	LADO DE INSPECCIÓN	LONG. PROMEDIO DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES	APROBACIÓN PARCIAL	APROBACIÓN TOTAL
1MG	PASE SIMPLE	X1=9	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	SI
		Y1=13,1			
		AL= 4,1			
		C1= 2,5			

	PASE MULTIPLE	x2= 11,8	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	
		Y2= 16,2			
		AL= 4,4			
		C2= 2,4			
2MG	PASE SIMPLE	X1=8,7	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	SI
		Y1=13,2			
		AL= 4,5			
		C1= 2,2			
	PASE MULTIPLE	x2= 11,6	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	
		Y2= 15,4			
		AL= 4,2			
		C2= 2,4			
3MG	PASE SIMPLE	X1=12,8	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	
		Y1=12,4			
		AL= 0,4			
		C1= 0,6			

	PASE MULTIPLE	x2= 12,4	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	
		Y2= 16,5			
		AL= 4,1			
		C1= 1,4			
4MG	PASE SIMPLE	X1=11,7	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	SI
		Y1=13,2			
		AL= 1,5			
		C1= 1,4			
	PASE MULTIPLE	x2= 12,2	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	
		Y2= 16,5			
		AL= 4,3			
		C1= 2,2			

Tabla 4. 16 Resultados de los ensayos macrográficos de las probetas de acero ASTM 588 GRADO A soldadas con el proceso SMAW con aporte de material E 6010 y E 7018

MUESTRA	LADO DE INSPECCIÓN	LONG. PROMEDIO DE PIERNA (mm)	OBSERVACIONES	APROBACIÓN	APROBACIÓN TOTAL
----------------	---------------------------	--------------------------------------	----------------------	-------------------	-------------------------

1MG	PASE SIMPLE	X1=10	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, pero se observa fisuras, porosidades y mordeduras en el cordón de soldadura.	NO	NO
		Y1=12			
		AL= 4			
		C1= 2			
	PASE MULTIPLE	x2= 12	La macrografía presenta buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, pero se observa poca penetración entre el cordón de soldadura y el metal base	NO	
		Y2= 17			
		AL= 5,2			
		C2= 2,8			
2MG	PASE SIMPLE	X1=8,5	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	SI
		Y1=13,7			
		AL= 4,7			
		C1= 2,7			
	PASE MULTIPLE	x2= 12,7	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades, ni mordeduras.	SI	
		Y2= 16,4			
		AL= 4,8			
		C2= 2,6			
3MG	PASE SIMPLE	X1=11,6	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	SI
		Y1=12,6			
		AL= 0,7			
		C1= 0,8			

4MG	PASE MULTIPLE	x2= 12,6	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.	SI	NO
		Y2= 16,5			
		AL= 4,2			
		C2= 1,8			
	PASE SIMPLE	X1=10,1	La macrografía presenta muy poca penetración en la raíz y el cordón de soldadura se observa fisuras, porosidades y mordeduras.	NO	
		Y1=11,1			
		AL= 0,5			
		C1= 0,9			
PASE MULTIPLE	x2= 12,4	La macrografía presenta buena penetración de la raíz, pero el cordón de soldadura no se encuentra uniforme presenta fisuras, y mordeduras.	NO		
	Y2= 15,7				
	AL= 5,2				
	C2= 2,6				

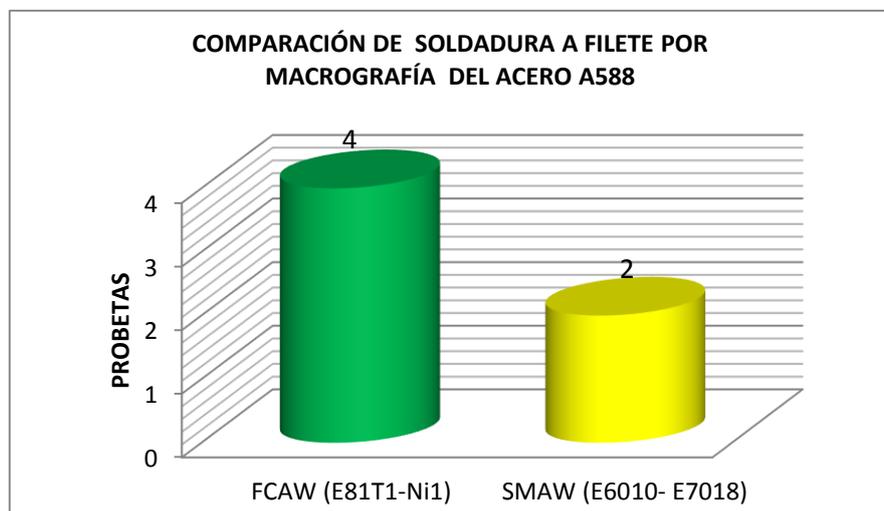


Figura 4. 14 Comparación de soldadura a filete por macrografía con el proceso FCAW y SMAW
Fuente: Autor

En la figura 4.14 indica que entre los dos procesos de soldadura las probetas sujetas al ensayo macrográfico existe una variación ya que en el proceso FCAW aprobaron todas las probetas ensayadas, mientras que en el proceso SMAW aprobaron dos de cuatro probetas ensayadas.

4.3.7 Fichas de recolección de datos de cada uno de los ensayos destructivos.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN								
DATOS INFORMATIVOS:								
Norma Aplicada: AWS D1.5			Material: ASTM A588			Espesor: 20mm		
Material de Aporte: Alambre tubular E81T1-Ni1 Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)								
Responsable: Jaime Sailema			Fecha: 24/04/2014			Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes		
JUNTA A TOPE (TRACCIÓN CIRCULAR)								
PROCESO	PROBETA	Sut (Mpa)	Sy (Mpa)	ELONG (%)	FALLA DE SOLDADURA		CRITERIO ACEPTACIÓN RECHAZO	% DE APROBADAS
					F.M.B	F.J.S		
<u>FCAW</u>	FR-1	658,4	552,3	27,58	√		APRUEBA	100
Promedio		658,4	552,3	27,58				
<u>SMAW</u>	SR-1	605,1	506,8	26,78	√		APRUEBA	100
Promedio		605,1	506,8	26,7				
JUNTA A TOPE (TRACCIÓN PLANA)								
PROCESO	PROBETA	Sut (Mpa)	Sy (Mpa)	ELONG (%)	FALLA DE SOLDADURA		CRITERIO ACEPTACIÓN RECHAZO	% DE APROBADAS
					F.M.B	F.J.S		
<u>FCAW</u>	FT-1	565	480,25	----	√		APRUEBA	100
	FT-2	577	490,45	----	√		APRUEBA	
Promedio		571	485,35	----				
<u>SMAW</u>	ST-1	553	470,05		√		APRUEBA	100
	ST-2	570,1	484,585		√		APRUEBA	
Promedio		561,55	477,317					

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Norma Aplicada: AWS D1.5	Material: ASTM A588	Espesor: 20mm			
Material de Aporte: Alambre tubular E81T1-Ni1 Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)					
Responsable: Jaime Sailema	Fecha: 24/04/2014	Supervisor: Ing. Mg.Juan Paredes			
JUNTA A TOPE					
PROCESO	PROBETA	ENERGIA DE IMPACTO (J)	CRITERIO ACEPTACIÓN Y RECHAZO		% DE APROBADAS
			APRUEBA	NO APRUEBA	
<u>FCAW</u>	FCH2	48,8	√		100
	FCH3	70,5	√		
	FCH5	56,9	√		
Promedio		58,8			
<u>SMAW</u>	SCH1	27,1	√		100
	SCH2	46,1	√		
	SCH4	3	√		
Promedio		37,1			



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**



RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO

DATOS INFORMATIVOS:

Norma Aplicada: AWS D1.5 **Material:** ASTM A588 **Espesor:** 20mm

Material de Aporte: Alambre tubular E81T1-Ni1
Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)

Responsable: Jaime Sailema **Fecha:**24/04/2014 **Supervisor:** Ing. Mg. Juan Paredes

JUNTA A TOPE

PROCESO	PROBETA	OBSERVACION	CRITERIO ACEPTACIÓN Y RECHAZO		% APROBADAS
			APRUEBA	NO APRUEBA	
FCAW	FDG-1	Indicación abierta 0,7mm	√		100
	FDG-2	Ninguna indicación	√		
	FDG-3	Indicación abierta 2,4mm	√		
	FDG-4	Ninguna indicación	√		
SMAW	SDG-1	Indicación abierta de 7,23mm		√	50
	SDG-2	Ninguna indicación	√		
	SDG-3	Ninguna indicación	√		
	SDG-	Indicación abierta de 4,61mm		√	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**



RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA

DATOS INFORMATIVOS:

Norma Aplicada: AWS D1.5

Material: ASTM A588

Espesor: 20mm

Material de Aporte: Alambre tubular E81T1-Ni1
Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)

Responsable: Jaime Sailema

Fecha:24/04/2014

Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes

JUNTA A TOPE

PROCESO	PROBETA	TAMAÑO DE GRANO			% DE PERLITA		%DE FERRITA (SOLDADURA)	
		METAL BASE	ZAT	SOLDA DURA	METAL BASE	ZAT	ALOTROMOR FICA	ACICULAR
FCAW	FM-1	6,35	5,15	6,6	25,9	23,1	67,8	29,6
	FM-2	6,39	6,04	6,69	26,5	25,3	63,6	34,2
	FM-3	6,39	5,96	6,75	25,7	24,6	63,9	34
PROMEDIO		6,38	5,72	6,68	26,03	24,33	65,10	32,60
SMAW	SM-1	6,37	6,09	6,6	26,9	25,2	69,1	29,2
	SM-2	6,27	6,32	6,53	25,9	25,5	68,3	28,9
	SM-3	6,3	6,26	6,56	26,8	25,8	66,7	31,2
PROMEDIO		6,31	6,22	6,56	26,53	25,50	68,03	29,77

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE MACROGRAFÍA					
DATOS INFORMATIVOS:					
Norma Aplicada: AWS D1.5		Material: ASTM A588		Espesor: 20mm	
Material de Aporte: Alambre tubular E81T1-Ni1 Combinación de electrodo E6010(raíz) y E7018(acabado)					
Responsable: Jaime Sailema		Fecha: 24/04/2014		Supervisor: Ing. Mg. Juan Paredes	
JUNTA A FILETE					
PROCESO	PROBETA	OBSERVACIÓN	CRITERIO ACEPTACIÓN Y RECHAZO		% APROBADAS
			APRUEBA	NO APRUEBA	
<u>FCAW</u>	FMG-1	buena penetración en la raíz	√		100
	FMG-2	buena penetración en la raíz	√		
	FMG-3	buena penetración en la raíz	√		
	FMG-4	buena penetración en la raíz	√		
<u>SMAW</u>	SDG-1	poca penetración		√	50
	SDG-2	buena penetración en la raíz	√		
	SDG-3	buena penetración en la raíz	√		
	SDG-4	poca penetración		√	

4.4.-Verificación de la hipótesis

		FCAW	SMAW	MEJOR PROCESO		
JUNTAS SODADAS ACERO ASTM A588	ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS PLANAS	<u>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Sut (MPa)</u>	571	561,55	FCAW	
		<u>LIMITE DE FLUENCIA Sy (MPa)</u>	485,35	477,317	FCAW	
	ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS CIRCULARES	<u>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Sut (MPa)</u>	658,4	605,1	FCAW	
		<u>LIMITE DE FLUENCIA Sy (MPa)</u>	552,3	506,8	FCAW	
		<u>% ELONGACION</u>	27,58	26,78	FCAW	
	ENSAYO DE IMPACTO	<u>ENERGIA DE IMPACTO (J)</u>	58,8	37,1	FCAW	
	ENSAYO DE DOBLEZ	<u>% PROBETAS APROBADAS</u>	100	50	FCAW	
	ENSAYO METALOGRAFICO	<u>TAMAÑO DE GRANO ASTM</u>	METAL BASE	6,38	6,31	FCAW SMAW
			ZAT	5,72	6,22	
			SOLDADURA	6,68	6,56	
		<u>% PERLITA</u>	METAL BASE	26,03	26,53	FCAW SMAW
			ZAT	24,33	25,50	
		<u>% FERRITA (SOLDADURA)</u>	ALOTROMORFICA	65,10	68,03	FCAW
			ACICULAR	32,60	29,77	
		ENSAYO MACROGRAFICO	<u>% PROBETAS APROBADAS</u>	100	50	FCAW
El mejor proceso de soldadura resulta el proceso FCAW ya que es mejor en todo los ensayos.						

Después de haber realizado los ensayos experimentales de tracción, impacto, doblez guiado, metalografía y micrográfico a las juntas soldadas de acero ASTM A 588 grado A con alambre E81T1-Ni1, con gas protector CO₂ en el proceso FCAW y con combinación de electrodo E6010 de raíz y E7018 de acabado en el proceso SMAW respectivamente se puede comprobar que las juntas soldadas en el proceso FCAW presentan mejora en sus propiedades mecánicas y en la resistencia de las juntas soldadas en comparación con el proceso SMAW.

La resistencia a la tracción (S_u) y la resistencia a la cedencia (S_y) tiende a aumentar en las juntas soldadas de ACERO ASTM A 588 en el proceso de soldadura FCAW en comparación con el proceso SMAW con el mismo acero esto sucede en los dos casos de ensayos a tracción en probetas plana y tracción en probetas circulares, como se muestra en las figuras 4.1, 4.2, 4.3

El porcentaje de elongación también se incrementa ligeramente un porcentaje en el proceso FCAW en comparación con el proceso de soldadura SMAW, esto sucede en el ensayo a tracción en probetas circulares, esto se muestra en la figura 4.4

La resistencia al impacto de las juntas soldadas se incrementa significativamente con el proceso de soldadura FCAW con respecto al proceso SMAW, esto se muestra en la figura 4.6

En el ensayo de dobles la resistencia de la junta soldada en el proceso FCAW mejor ya que aprueban todas las probetas ensayadas, en comparación con el proceso SMAW, esto se observa en la figura 4.5

En el ensayo macrográfico las juntas soldadas con el proceso FCAW presenta mejor penetración en la raíz y mejor acabado del cordón de soldadura (cordón uniforme) en comparación con las juntas soldadas con el proceso SMAW, esto se muestra en la figura 4.14 número de probetas aprobadas.

CAPÍTULO V

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Realizado el estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en Acero ASTM A588 y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes se concluye lo siguiente:

- Se obtuvo las probetas de cada una de las juntas soldadas mediante la norma AWS D 1.5 en la cual indica cada una de las dimensiones que debe tener cada junta para proceder a realizar los ensayos destructivos.
- Los parámetros esenciales que intervienen en el proceso de soldadura FCAW son la tensión del arco (voltaje) esta se selecciona al momento de soldar, velocidad del alambre (proporcional al alambre), la intensidad y el gas protector utilizado. En el proceso SMAW los parámetros que intervienen es el diámetro del electrodo, intensidad de soldeo, longitud de arco, velocidad de desplazamiento y la orientación del electrodo.
- Se determinó que el proceso de soldadura FCAW en las juntas de Acero ASTM A588 soldadas con alambre E81T1-Ni1 y gas protector CO₂ presentaron mejores propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción (Sut), resistencia a la cadencia (Sy), porcentaje de elongación y la energía de impacto.
- Una vez realizado el ensayo de metalografía se determinó que en el pozo de soldadura de la junta soldadas con el proceso FCAW, la ferrita acicular tiene 32,60 % frente al proceso SMAW que tiene ferrita acicular de 29,77%, esto significa que las juntas soldadas con el proceso FCAW tienen mayor tenacidad en las juntas soldadas.

- El tamaño de grano ASTM en el metal base y en el ZAT es similar su valor en los dos procesos de Soldadura ya que tienen un grano fino, esto significa que el material es más resistente que uno que tenga grano grueso.
- En este estudio además de las propiedades mecánicas, es indispensable la microestructuras presentes en el metal base, en el pozo de soldadura y en la zona térmicamente afectada ya que con el ensayo metalográfico se verifica la resistencia del metal base y el porcentaje de carbono del mismo.
- El porcentaje de perlita en el metal base es mayor que en el ZAT en los dos procesos de soldadura, esto significa que al soldar disminuye el porcentaje de perlita y se ve afectada la resistencia del material y el porcentaje de carbono del material.
- Las probetas soldadas por el proceso de soldadura FCAW presentaron mayores valores de energía absorbida en el ensayo de impacto charpys (58,73J).
- Se observó que en el proceso FCAW tuvo mayor resistencia a la junta ya que en el ensayo de doblez las probetas ensayadas no tuvieron indicaciones abiertas y fisuras mayores que las requeridas en la norma AWS D1.5.
- Con el ensayo macrográfico se determinó que la junta soldada a filete tuvo buena penetración de raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.
- El mejor proceso de soldadura que tuvo menos problemas en las juntas soldadas y mejora en sus propiedades mecánicas fue el proceso de soldadura FCAW.

5.2. Recomendaciones

- Tener mucho cuidado con la limpieza de la junta, antes de iniciar el proceso de soldadura, para prevenir posibles discontinuidades, gases atrapados en el cordón de soldadura

- Realizar una limpieza rigurosa entre pases para evitar la presencia de impurezas, inclusiones de escoria, para evitar las discontinuidades en el cordón.
- Cuando se realice el corte de cada una de las probetas se debe tener en cuenta que no se debe recalentar la superficie, porque se podría variar las propiedades mecánicas del material y no obtener los resultados esperados en la microestructura.
- Tener cuidado con el enfriamiento de la probetas después de haber sido soldada ya que el enfriamiento debe ser lento y al ambiente.
- Los soldadores que realizan el proceso de soldadura deben ser calificados para disminuir el riesgo de la formación de defectos producidos por falta de habilidad del soldador.
- Tener mucho cuidado con la manipulación de los equipos y materiales cuando se realiza cada uno de los ensayos destructivos como son de tracción, impacto, dobléz, metalografía, macrografía ya que podría causar daños a la persona y a los equipos.
- Para el ensayo metalográfico y macrográfico la superficie de las probetas deben estar bien pulidas y atacadas con el reactivo adecuado para que la microestructura y los defectos de la soldadura sean los esperados.
- Tener en cuenta cada uno de los parámetros de soldadura cuando se realice cada uno de los procesos de soldadura. Para evitar defectos en la junta.

CAPÍTULO VI

6.-PROPUESTA

ELABORACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA FCAW CON MATERIAL DE APOORTE ALAMBRE E81T1-Ni1 CON GAS PROTECTOR CO₂ EN LAS JUNTAS SOLDADAS DE ACERO ASTM A 588 EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS METÁLICAS DE PUENTES COLGANTES.

6.1.-Datos Informativos

Una vez concluido el estudio de los procesos FCAW y SMAW en juntas soldadas de Acero ASTM A588 en la fabricación de vigas metálicas, se logrado determinar que el proceso FCAW resulto el mejor proceso de soldadura, el cual mejoro las propiedades mecánicas en las juntas soldadas como son la resistencia a la tracción , resistencia a la cedencia , elongación y la energía de impacto. También se obtuvo mayor resistencia de la junta soldada mediante los ensayos de doblez guiado y se logró mayor penetración del cordón de soldadura con el metal base mediante el ensayo macrográfico.

Este estudio constituye un aporte al área de materiales y al sector industria, como es la fabricación de puentes estructurales ya que se ha determinado un mejor proceso de soldadura con el cual se ha obtenido mejorar las propiedades mecánicas, las cuales influyen bastante en el sector de las estructuras de los puentes.

Una parte de los ensayos se realizaron en el Laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Nacional como son tracción, impacto y doblez y la otra parte se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, como son metalografía y macrografía.

6.2.-Antecedentes de la propuesta

Existen diversos proyectos de investigación en el campo de la soldadura pero es difícil encontrar estudios de procesos de soldadura en juntas soldadas en vigas metálicas de puentes colgantes.

Mediante esta investigación realizada acerca del estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en juntas soldadas de Acero ASTM A588 en la fabricación de vigas metálicas, se concluyó que las juntas soldadas de Acero ASTM A588 con el proceso FCAW con material de aporte E81T1-Ni1 y gas protector CO₂ resulto más eficiente , puesto que con la aplicación de este proceso se logró mejorar las propiedades mecánicas en estas juntas soldadas .

6.3.-Justificación

En el país se ha extendido en gran cantidad el área de las estructuras metálicas, como son la construcción de puentes estructurales, para lo cual es de gran importancia incorporar un procedimiento de soldadura adecuado ya que este permita mejorar la calidad y el acabado de la soldadura en la construcción de las vigas metálicas en puentes .

Actualmente en el sector industrial como es en la construcción de puentes metálicos, no se sigue procedimientos de soldadura bajo normas establecidas, lo que esto genera problemas en los elementos que conforman la estructura y especialmente en la soldadura ya estos están expuestos a diferentes fuerzas mecánicas (tracción, flexión e impacto), por lo cual es necesario en la construcción de vigas metálicas de puentes tener un procedimiento adecuado de soldadura el cual garantice la vida útil del proyecto y mejore la calidad de presentación del mismo .

Por lo expuesto anteriormente es necesario realizar el procedimiento de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ en las juntas soldadas de Acero ASTM A 588 en la fabricación de vigas metálicas de puentes colgantes.

6.4.-Objetivos

6.4.1General

Realizar el proceso de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ en las juntas soldadas de Acero ASTM A 588 en la fabricación de vigas metálicas de puentes colgantes.

6.4.2Específicos

- Determinar los parámetros de preparación de las juntas soldadas de Acero ASTM A 588 utilizado en la fabricación de puentes colgantes.
- Realizar los procedimientos de ensayo de tracción, dobléz guiado, impacto, análisis metalográfico y micrográfico, mediante el proceso e soldadura FCAW en las juntas soldadas.
- Elaborar un procedimiento de soldadura WPS para las juntas soldadas de acero ASTM A 588 en el proceso FCAW en la construcción de vigas metálicas en puentes colgantes.

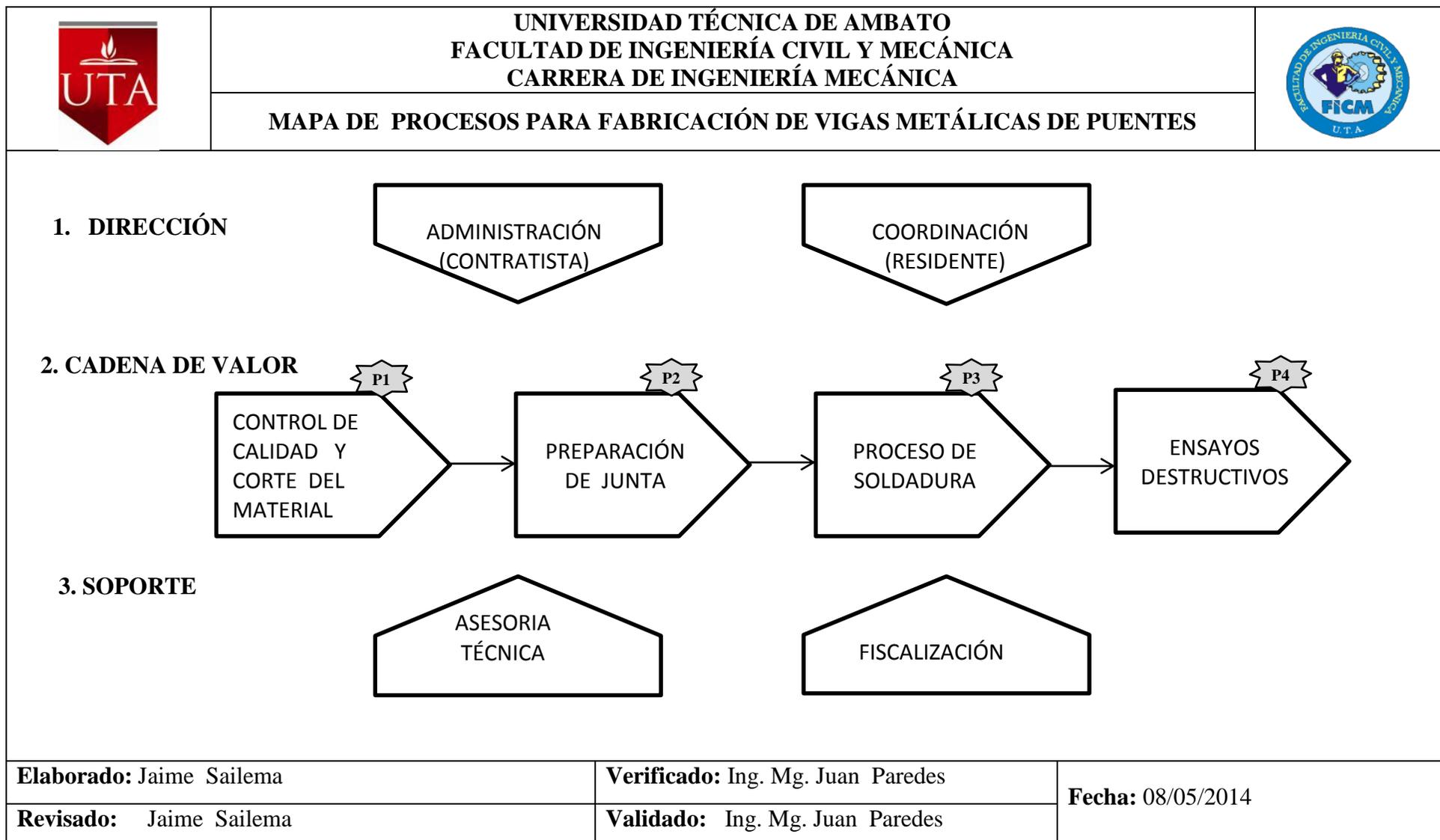
6.5.-Análisis de factibilidad

Con los costos detallados en la tabla 6.4, se determina que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información necesaria, como son la Norma AWS D1.5, catálogos y además de recursos humanos, materiales e instrumentales que fueron facilitados por el taller de soldadura de la empresa, también del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la E.P.N y de los Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato ,sumado a esto se toma en cuenta que todos los elementos considerados para el desarrollo de la propuesta, son de costo moderado y se encuentran en el mercado nacional por lo que son de fácil adquisición.

6.6.-Fundamentación

La propuesta se fundamentó en la teoría de los capítulos II y IV, los que tienen relación con el marco teórico y análisis de resultados donde se muestra los factores, características y resultados de cada uno de los ensayos realizados , como son los ensayos de tracción, impacto, dobléz guiado, metalografía y macrografía durante el estudio para determinar que el proceso de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 con gas protector CO₂ en las juntas soldadas de Acero ASTM A 588 en la fabricación de vigas metálicas de puentes colgantes es el más indicado.

6.7.-Metodología

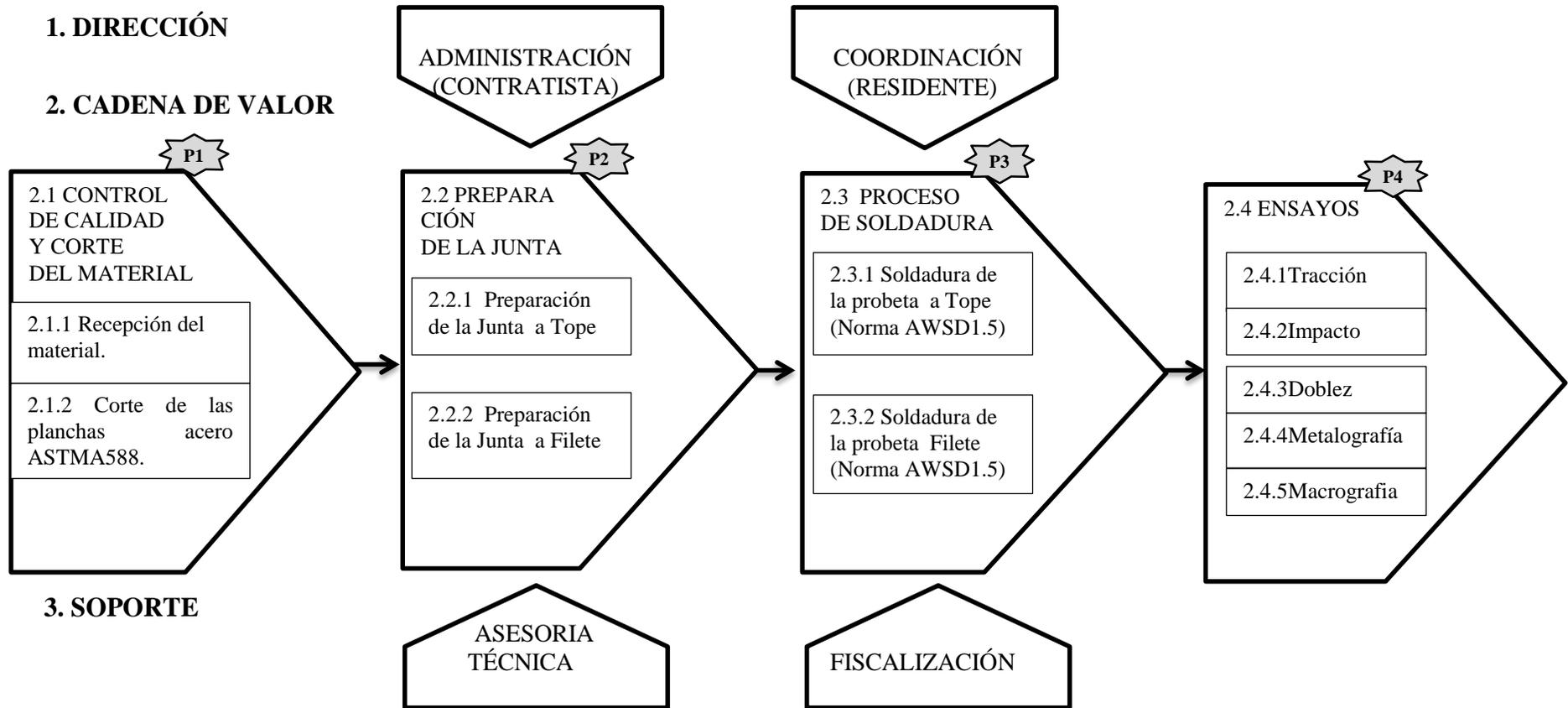




MAPA DE PROCESOS PARA FABRICACIÓN DE VIGAS METÁLICAS DE PUENTES

1. DIRECCIÓN

2. CADENA DE VALOR



Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing. Mg. Juan Paredes

Fecha: 08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing. Mg. Juan Paredes

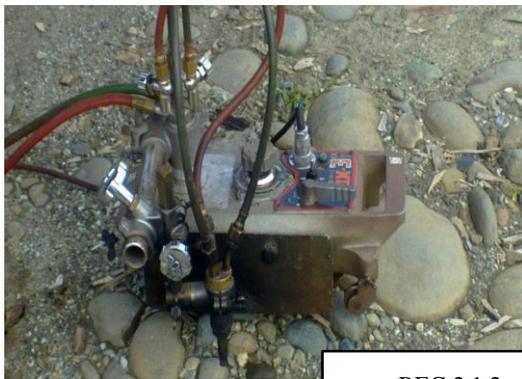
6.7.1.- Obtención y corte del material

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	OBTENCIÓN Y CORTE DEL MATERIAL	PROC:01-C.C
OBJETIVO: Determinar las características del metal base en función de la norma ASTM A 588 y los parámetros de corte.		ALCANCE: Este proceso aplica solo para la fabricación de vigas metálicas de puentes en espesores de 12-20 mm
RESIDENTE	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Recepción y corte del material </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: right;">1</p> <p>Revisión del material que cumpla con las características requeridas para la fabricación.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;"> REG 2.1.1 Norma ASTM A588 </div> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">2</p> <p>Identificar un código de especificaciones que viene marcado en las planchas.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;"> REG 2.1.1 Norma ASTM A588 </div> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: right;">3</p> <p>Informar de alguna imperfección en el material a utilizar, antes de proceder al almacenamiento del material.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;"> REG 2.1.2 Libro de obra </div> </div>
Elaborado: Jaime Sailema		Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes
Revisado: Jaime Sailema		Validado: Ing.Mg. Juan Paredes
Fecha: 08/05/2014		



ARMADOR

Preparar los equipos y las planchas de acero ASTM A588 al área de trabajo para el corte. Equipo de oxicorte y coche de avance automático



REG 2.1.2
Libro de obra

Regulación de los parámetros de corte: velocidad de avance del coche (rana) 20 inch/min
Flujo de gas y de oxígeno del equipo de oxicorte.

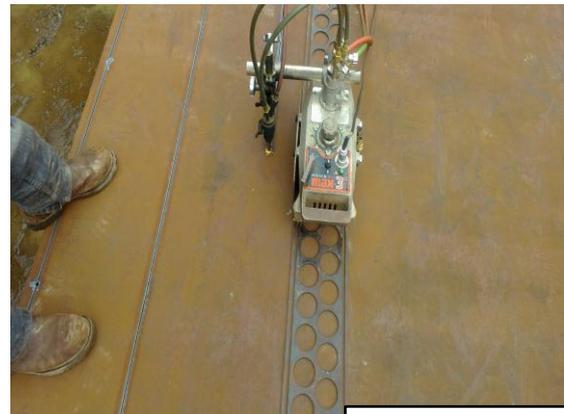


Dimensionamiento de cada una de las planchas de Acero ASTM A588



REG 2.1.3
Planos de diseño

Corte longitudinal de cada una de las planchas de acero con el coche de avance automático y el equipo de oxicorte.



REG 2.1.2
Libro de obra

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



OBTENCIÓN Y CORTE DEL MATERIAL

PROC:01-C.C

8

Limpieza de las boquillas del equipo de oxicorte y enfriamiento de las planchas de acero ASTM A588.



AYUDANTE

Va a:
Preparación de Junta
a Tope (P2)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

6.7.2.- Preparación de la junta

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	PREPARACIÓN DE LA JUNTA	PROC:02-P.J
OBJETIVO: Realizar el procedimiento para la preparación de las juntas soldadas a tope y a filete con las sugerencias de la Norma AWS D 1.5		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para la construcción de vigas metálicas de puentes colgantes.
AYUDANTE	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: 20%;"> Preparación de Junta a Tope y a Filete </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 70%;"> <p style="text-align: right;">1</p> <p>Traslado del equipo de oxígeno y el coche de avance automático al área de trabajo.</p>  </div> </div>	
ARMADOR	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 80%;"> <p>Dimensionamiento de cada una de las Juntas a Tope y Juntas a Filete de Acero ASTM A588. (Medidas de las probetas)</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 15%; text-align: center;"> <p style="font-size: 24px;">2</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content; margin-left: auto;"> REG 2.2.1 Norma AWS D1.5 </div>	
Elaborado: Jaime Sailema		Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes
Revisado: Jaime Sailema		Validado: Ing.Mg. Juan Paredes
Fecha: 08/05/2014		



PREPARACIÓN DE LA JUNTA

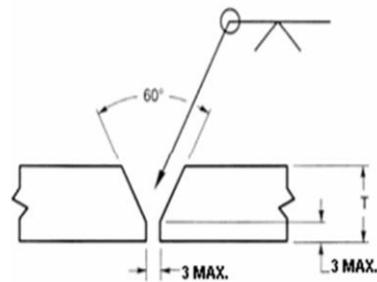
3

Determinar las características de cada una de las juntas:

Junta a tope:

Ángulo (α)

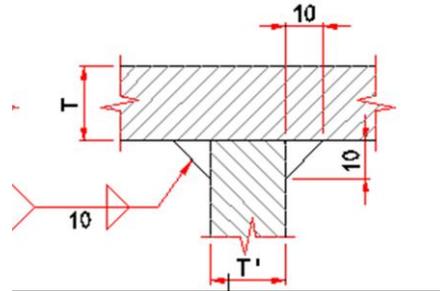
Biselado de la placa en V



Características de la junta a Filete:

Pase simples (por un lado)

Pases múltiples (por otro lado)



REG 2.2.1-2.1.3
Planos de diseño
Norma AWS D1.5

4

Biselado a 60° de la Junta a Tope con el equipo de oxicorte y el coche de avance automático.

En la Junta a Filete no se realiza biselado.



REG 2.2.1-2.1.3
Planos de diseño
Norma AWS D1.5

ARMADOR

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



PREPARACIÓN DE LA JUNTA

PROC:02-P.J

AYUDANTE

Limpieza de las rebabas del biselado de la Junta a Tope, esto se lo realiza con la pulidora y el disco de desbaste.

5



REG 2.1.2
Libro de obra

Enfriamiento al ambiente de la probeta después de la preparación de la Junta a Tope y Junta a Filete.

6



Va a:
Proceso de soldadura
de probeta a Tope
(P3)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

6.7.3.- Proceso de soldadura a tope

	<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	
	<p align="center">PROCESO DE SOLDADURA A TOPE</p>	<p>PROC:03-S.T</p>
<p>OBJETIVO: Determinar los parámetros del proceso de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 y gas protector CO₂</p>	<p>ALCANCE: Este procedimiento se aplica para la construcción de vigas metálicas de puentes colgantes.</p>	
<p>AYUDANTE</p>		<p>Traslado de la máquina de soldar INVERTEC al lugar de trabajo y ubicar el material de aporte E81T1-Ni1 y gas protector CO₂</p>
	<p>REG 2.3 Ficha de INVERTEC</p>	<p align="center">1</p>
<p>SOLDADOR</p>	<p>Ubicar parámetros de control de la máquina de soldar INVERTEC. Velocidad de avance 120-140 (mm/min) Intensidad 140-200 (Amperios) Tensión de trabajo 24-30 (voltios)</p>	
<p>REG 2.3.1 WPS 001 PQR001</p>	<p align="center">2</p>	
<p>Elaborado: Jaime Sailema</p>	<p>Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>	<p>Fecha: 08/05/2014</p>
<p>Revisado: Jaime Sailema</p>	<p>Validado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>	



PROCESO DE SOLDADURA A TOPE

SOLDADOR

3 Armado y punteado de la probeta de procedimiento junta a tope.

Posición de soldadura (3G)

Abertura de raíz (4-5) mm

Alineación de la junta



REG 2.3.1
WPS001
PQR 001

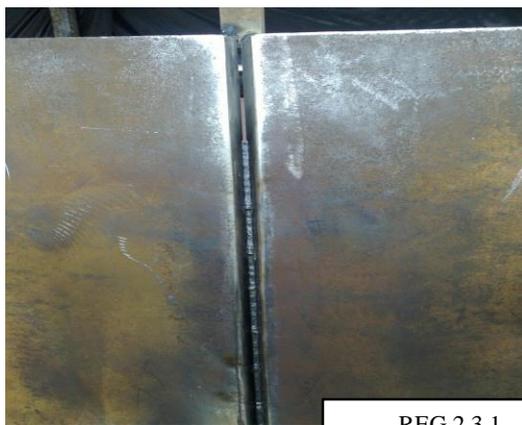
4 Pre calentamiento de la probeta antes de proceder a soldar, esto se realiza para evaporar la humedad de la placa.



REG 2.3.1
WPS 001
PQR 001

5 Soldadura del cordón o pase de soldadura de raíz de la probeta a Tope.

(Cordón oscilante)



REG 2.3.1
WPS 001
PQR 001

6 Limpieza de la escoria del cordón de soldadura de raíz, para evitar inclusiones de escoria, esto lo realizamos con la pulidora y la grata de disco.



REG 2.3.1
WPS 001
POR 001

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014



SOLDADOR

7 Soldadura del cordón de relleno 3 pases y cordón de presentación 2 pases
Técnica del cordón oscilante.
Avance continuo



REG 2.3.1
WPS 001
PQR 001

8 Pulido posterior del cordón de raíz con el disco de corte, luego se procede a soldar el cordón de respaldo.



REG 2.3.1
WPS 001
PQR 001

9 Desprendimiento de la escoria y de los tensores posteriores de la probeta.
Enfriamiento ambiente de la probeta



Va a:
Proceso de soldadura probeta a Filete (P3)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

6.7.4.- Proceso de soldadura a filete

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	PROCESO DE SOLDADURA A FILETE	PROC:03-S.F
OBJETIVO: Determinar los parámetros del proceso de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1Ni1 y gas protector CO ₂ .		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para la construcción de vigas metálicas de puentes colgantes.
AYUDANTE	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; transform: rotate(-15deg); display: inline-block;"> Proceso de soldadura probeta a Filete (P3) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; flex-grow: 1;"> <p style="text-align: right; margin-bottom: 0;">1</p> <p>Traslado de la máquina de soldar INVERTEC al lugar de trabajo y ubicar el material de aporte E81T1-Ni1 y gas protector CO₂</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px; text-align: center;"> REG 2.3 Ficha de INVERTEC </div> </div> </div> </div>	
SOLDADOR	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; flex-grow: 1;"> <p>Ubicar parámetros de control de la máquina de soldar INVERTEC.</p> <p>Velocidad de avance 120-140 (mm/min)</p> <p>Intensidad 140-200 (Amperios)</p> <p>Tensión de trabajo 24-30 (voltios)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px; text-align: center;"> REG 2.3.2 WPS 002 PQR 002 </div> </div> <div style="text-align: right; margin-bottom: 0;"> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</p> </div> </div> </div>	
Elaborado: Jaime Sailema		Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes
Revisado: Jaime Sailema		Validado: Ing.Mg. Juan Paredes
Fecha: 08/05/2014		



PROCESO DE SOLDADURA A FILETE

SOLDADOR

3

Armado y punteado de la probeta a Filete.
Posición de soldadura (3F)
Cordón oscilante
Alineación de la junta



REG 2.3.2
WPS 002
PQR 002

4

Pre calentamiento de la probeta de 80°C a 150°C antes de proceder a soldar, esto se realiza para evaporar la humedad de la placa.



REG 2.3.2
WPS 002
POR 002

5

Soldadura de la junta a filete cordón de soldadura, pase simple
(Cordón oscilante)



REG 2.3.2
WPS 002
PQR 002

6

Soldadura de la junta a filete cordón de soldadura, pase múltiple.
(Cordón oscilante)



REG 2.3.2
WPS 002
POR 002

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCESO DE SOLDADURA A FILETE

PROC:03-S.F

AYUDANTE

Desprendimiento de la escoria e inclusiones del cordón de soldadura.

Enfriamiento ambiente de la probeta



7

V a a:
Ensayo de
Tracción (P4)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

6.7.5.- Ensayo de tracción

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	ENSAYO DE TRACCIÓN	PROC:04-E.T
OBJETIVO: Determinar las Propiedades Mecánicas de Tracción como: S_u , S_y , %Elongación.		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para realizar el ensayo de Tracción en vigas metálicas según la NORMA AWS D1.5
JAIMÉ SAILEMA	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> Ensayo de Tracción (P4) </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: right;">1</p> <p>Preparación y dimensionamiento de cada una de las probetas a tope de acero ASTM A588</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto;"> REG 2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>
	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: right;">2</p> <p>Corte de cada una las probetas para el ensayo de tracción. El corte se debe realizar con la pulidora y con líquido refrigerante agua, esto se realiza para que no se recaliente la probeta</p> <p>Probetas Planas (4) Probeta circular (1)</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto;"> REG2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>	
Elaborado: Jaime Sailema		Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes
Revisado: Jaime Sailema		Validado: Ing.Mg. Juan Paredes
Fecha: 08/05/2014		



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



ENSAYO DE TRACCIÓN

PROC:04-E.T

JAI ME SAILEMA

3

Maquinado de las probetas a ensayar. Las probetas planas son fresadas en la zona media, para inducir la rotura, al igual que las probetas circulares son torneadas en la misma zona media para la fractura.



REG2.2.1
Norma AWS D1.5

4

Posteriormente se procede a pulirlas y queden listas para el ensayo.



5

Preparar la maquina universal y accesorios para el ensayo.

Encendido de la máquina y software



REG 2.4.1
Norma AST E8

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



ENSAYO DE TRACCIÓN

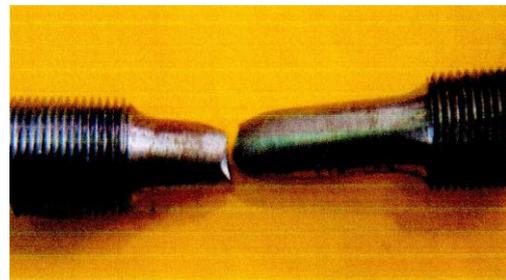
AYUDANTE DE LABORATORIO

Ubicar la probeta en los acoples o mordazas y sujetarlas cada una



REG 2.4.1
Norma AST E8

Aplicar la carga a la probeta continuamente, cada vez con carga mayor hasta que se rompa la probeta.

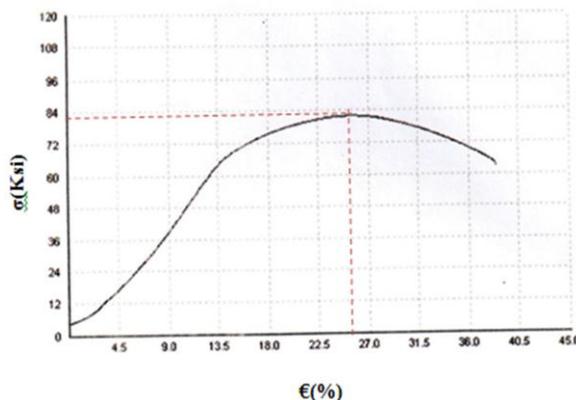


REG 2.4.1
Norma AST E8

JAIME SAILEMA

Obtención de resultados y la gráfica de Esfuerzo VS deformación, por medio de software de la maquina universal

GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



Va a:
Ensayo de Impacto (P4)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

6.7.6.- Ensayo de impacto

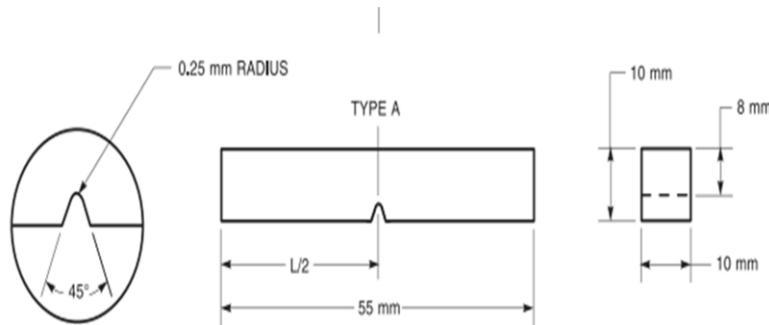
	<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	
	<p>ENSAYO DE IMPACTO</p>	<p>PROC:04-E.IMP</p>
<p>OBJETIVO: Determinar la energía de impacto (Joules) de cada una de las probetas.</p>		<p>ALCANCE: Este procedimiento se aplica para realizar el ensayo de Impacto en vigas metálicas según la NORMA AWS D1.5</p>
<p>JAIMÉ SAILEMA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(90deg);"> <p>Ensayo de Impacto (P4)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; flex-grow: 1;"> <p align="center">1</p> <p>Preparación y dimensionamiento de cada una de las probetas a tope de acero ASTM A588</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>REG2.2.1 Norma AWS D1.5</p> </div> </div> </div> </div>	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; flex-grow: 1;"> <p align="center">2</p> <p>Corte de cada una de las probetas para el ensayo de Impacto, probetas cortadas transversalmente al eje de soldadura. El corte se debe realizar con la pulidora y con líquido refrigerante agua, esto se realiza para que no se recaliente la probeta</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>REG2.2.1 Norma AWS D1.5</p> </div> </div> </div> </div>	
<p>Elaborado: Jaime Sailema</p>		<p>Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>
<p>Revisado: Jaime Sailema</p>		<p>Fecha:08/05/2014</p>
		<p>Validado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>



ENSAYO DE IMPACTO

3

Maquinado de las probetas a ensayar. Las probetas son fresadas en toda su superficie y ranurada en (V) en uno de sus lados, transversalmente al cordón de soldadura.

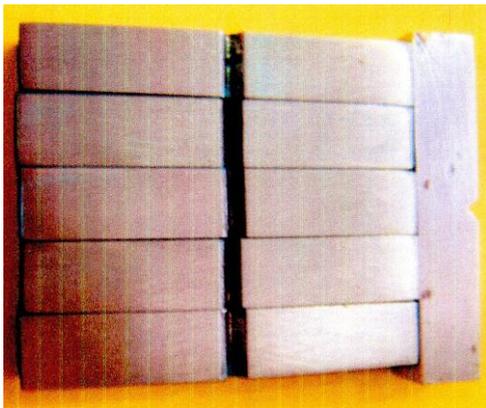


REG2.2.1
 Norma AWS D1.5

JAIMÉ SAILEMA

4

Posteriormente se procede a pulirlas y queden listas para el ensayo.



5

Preparar la maquina Péndulo Universal tipo Charpy's, calibración de la máquina.



REG 2.4.2
 Norma AST E23

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



ENSAYO DE IMPACTO

PROC:04-E.IMP

AYUDANTE DE LABORATORIO

El ensayo se realiza colocando la probeta horizontalmente entre los dos apoyos, de modo que el entalle de la probeta se encuentre del lado opuesto al que va a recibir el impacto. Luego el péndulo es elevado hasta su posición más alta, para dar una altura de caída constante para todas las probetas a ensayar.

6

Después se libera el péndulo el cual golpea la probeta y produce la fractura de la misma.

7



REG 2.4.2
Norma AST E23

REG 2.4.2
Norma AST E23

JAIME SAILEMA

Se procede a tomar la medida de la energía que absorbe la probeta, esta se determina leyendo directamente la escala que se encuentra graduada en (Joules).

8



Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

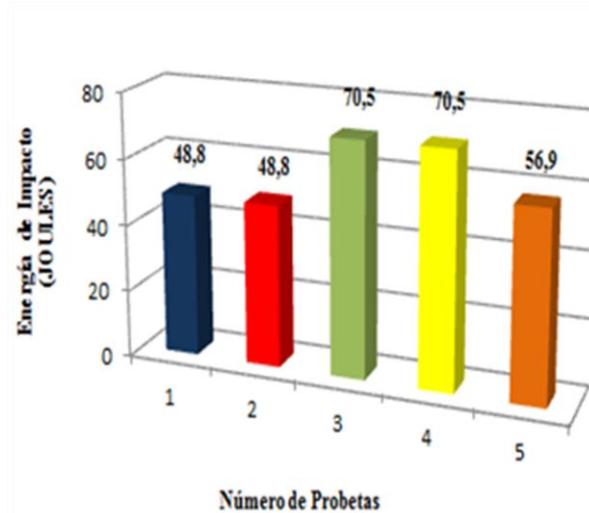


ENSAYO DE IMPACTO

PROC:04-E.IMP

JAIME SAILEMA

Evaluación de resultados del ensayo de Impacto.
(Grafica de datos).



9

Va a:
Ensayo de
Doblez (P4)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

6.7.7.- Ensayo de doblez

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	ENSAYO DE DOBLEZ	PROC:04-E.DG
OBJETIVO: Determinar la defectología (discontinuidades o defectos como fisuras, poros, grietas) de las juntas soldadas		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para realizar el ensayo de doblez en vigas metálicas de puentes según la Norma AWS D1.5
JAIMÉ SAILEMA	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1</div>	
	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: 150px; margin: auto;"> <p>Ensayo de DobleZ (P4)</p> </div>	<p>Preparación y dimensionamiento de cada una de las probetas a tope de acero ASTM A588</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> REG2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">2</div>
<p>Corte de cada una de las probetas para el ensayo de DobleZ, probetas cortadas transversalmente al eje de soldadura. . El corte se debe realizar con la pulidora y con líquido refrigerante agua, esto se realiza para que no se recaliente la probeta</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> REG2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>		
Elaborado: Jaime Sailema		Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes
Revisado: Jaime Sailema		Validado: Ing.Mg. Juan Paredes
Fecha: 08/05/2014		



ENSAYO DE DOBLEZ

JAI ME SAILEMA

3

Macro pulido de las probetas en cada una de sus caras, aristas y cordón de soldadura. Probetas listas para el ensayo de doblez.



REG2.2.1
 Norma AWS D1.5

4

Preparar la maquina Universal para el ensayo de doblez, calibración de la máquina. El ensayo se realiza colocando la probeta o espécimen en los apoyos, esta se sitúa con la soldadura en centro de la luz de la probeta.



REG 2.2.1
 Norma AWS D 1.5

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



ENSAYO DE DOBLEZ

PROC:04-E.DG

AYUDANTE DE LABORATORIO

Luego se aplica la carga en el centro de la probeta, doblando las probetas a 180°, hasta dejarlas como una herradura.



REG2.2.1
Norma AWS D1.5

JAI ME SAILEMA

Obtención de resultados después del ensayo. La probeta de doblez aprueba si cualquier grieta o defecto abierto no excede de 3mm después de ser doblada.



IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES	APROBACIÓN
FDG-1	Se observa una indicación abierta de 0,7mm, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
FDG-2	No se observa ninguna indicación abierta, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI
FDG-3	Se observa una indicación abierta de 2,4mm, lo que indica que se encuentran dentro de los requerimientos de la norma AWS D1.5	SI

Va a:
Análisis
Metalográfico
(P4)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

6.7.8.- Análisis metalográfico

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	ANÁLISIS METALOGRÁFICO	PROC:04-A.MET
OBJETIVO: Determinar el tamaño de grano, % de perlita, % ferrita del metal base, ZAT y del Pozo de soldadura de la junta soldada.		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para realizar el análisis metalográfico en vigas metálicas de puentes colgantes.
JAIMÉ SAILEMA	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1</div>	
	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> Análisis Metalográfico (P4) </div>	<p>Corte de pequeños trozos de la probeta soldada y del metal base. Las muestras para el ensayo se toman transversalmente del cordón de soldadura. El corte se realiza con la sierra manual para que no se modifique la microestructura del material.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto; text-align: center;"> REG2.4.4 Norma ASTM E3 </div>
		↓
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">2</div>
<p>Preparación de la máquina (prensa hidráulica), se procede al montaje de las probetas en caliente de las muestras de Acero ASTM A588.</p> <div style="text-align: center;">  </div>		
Elaborado: Jaime Sailema	Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes	Fecha: 08/05/2014
Revisado: Jaime Sailema	Validado: Ing.Mg. Juan Paredes	



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

JAI ME SAILEMA

Desbaste: Esto se realiza en un banco de lijas con líquido lubricante agua, el desbaste se realiza en un solo sentido.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

Desbaste Grueso de las probetas:

Consiste en frotar la superficie de la probeta que se desea preparar sobre una serie de lijas cada vez más finas. En este proceso se trata de retirar las impurezas de la superficie a examinar y las deformaciones producidas x el corte.

REG2.4.4
Norma ASTM E3

Desbaste Fino de las probetas:

Se realiza el desbaste fino utilizando lijas de 240-320-400-600 granos por pulgada, para remover las zonas deformadas causadas por el desbaste grueso.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



J A I M E S A I L E M A

6

Pulido de las probetas:

Esta es una etapa muy importante ya que la superficie debe quedar totalmente plana y brillante, se utiliza como abrasivo alúmina de 0,05 – 0,3 micras.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

7

El pulido se realiza en una maquina pulidora de disco con paños, la misma que debe girara 170 rpm para optimizar la operación.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

JAI ME SAILEMA

Ataque Químico de la superficie:

Para el ataque se utiliza el reactivo químico Nital 4 (aceros bajos en carbono). El ataque se realiza durante 5-8 segundos.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

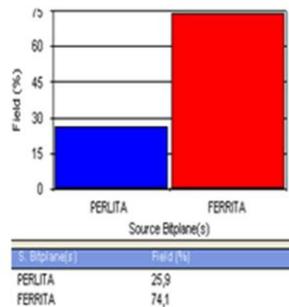
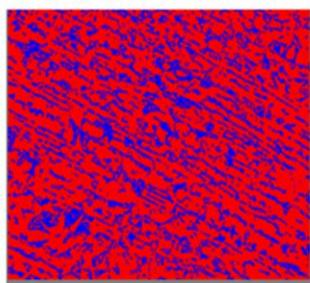
Se realiza el ataque químico para hacer visible la microestructura del metal base, el ZAT y el pozo de soldadura de cada una de las probetas.



REG2.4.4
Norma ASTM E3

Evaluación de resultados:

Con la ayuda del sistema de circuito cerrado de televisión se observa la microestructura de las probetas. Se debe evaluar los porcentajes de los componentes presentes en el acero.



Va a:
Análisis
Macrográfico (P4)

Elaborado: Jaime Sailema

Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha: 08/05/2014

6.7.9.-Análisis Macrográfico

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	ANÁLISIS METALOGRAFICO	PROC:04-A.MA
OBJETIVO: Determinar, mediante examinación visual, características generales y posibles defectos en el cordón de soldadura.		ALCANCE: Este procedimiento se aplica para realizar el análisis macrográfico en vigas metálicas de puentes colgantes.
JAIMÉ SAILEMA	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1</div>	
	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Análisis Macrográfico (P4) </div>	<p>Dimensionamiento y corte de las probetas. Las muestras para el ensayo se toman transversalmente del cordón de soldadura.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> REG2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>
	↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">2</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">3</div>
<p>La probeta de ensayo debe mostrar la sección transversal de corte completa de la soldadura.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> REG2.2.1 Norma AWS D1.5 </div> </div>		<p>Desbastado y pulido de la superficie de la sección trasversal del cordón de soldadura.</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>Elaborado: Jaime Sailema</p>		<p>Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>
<p>Revisado: Jaime Sailema</p>		<p>Validado: Ing.Mg. Juan Paredes</p>
<p>Fecha:08/05/2014</p>		



JAI ME SAILEMA

4

Después de ser pulidas se procede a atacarlas con el reactivo químico Nital 4 durante unos 6 segundos, para dar una clara definición a la soldadura.



5

Evaluación de resultados:

Este ensayo nos revela las discontinuidades y penetración del cordón que se encuentran en la soldadura.



Elaborado: Jaime Sailema

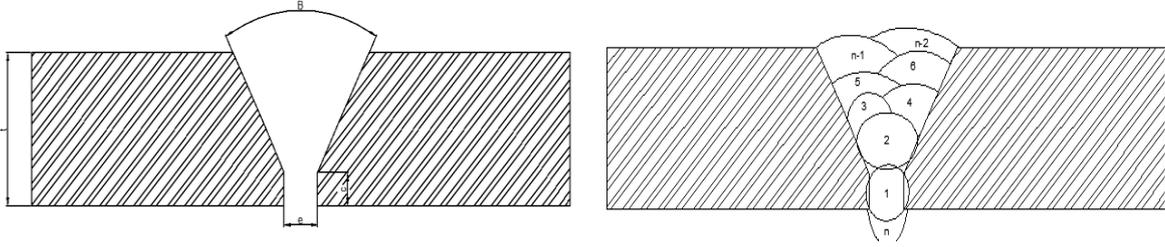
Verificado: Ing.Mg. Juan Paredes

Revisado: Jaime Sailema

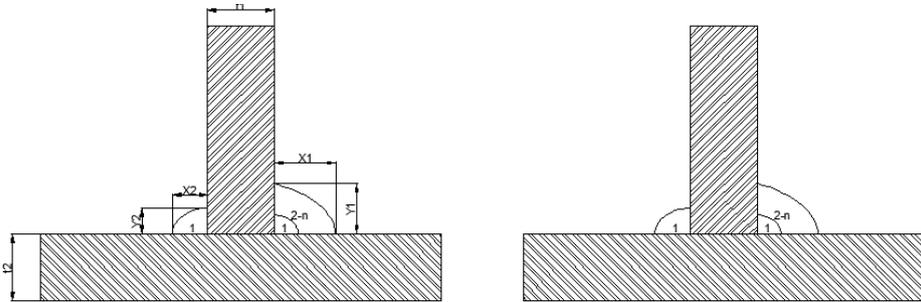
Validado: Ing.Mg. Juan Paredes

Fecha:08/05/2014

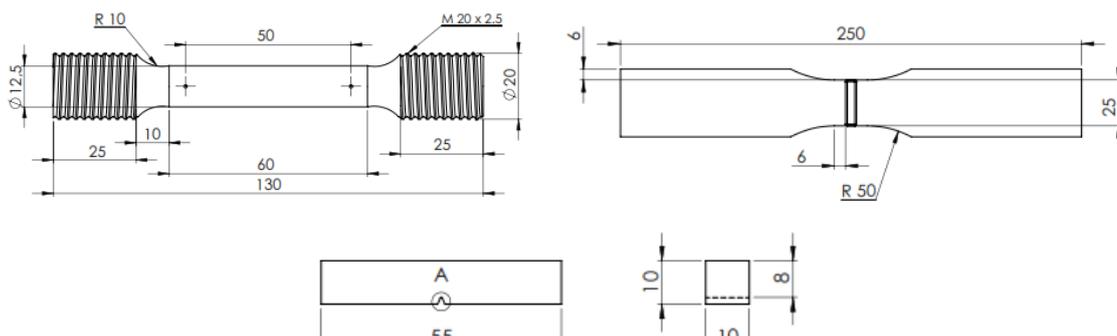
WPS especificaciones del procedimiento de soldadura de junta a tope

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) WPS N° 001									
Institución: Universidad Técnica de Ambato Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002 "BRIDGE WELDING CODE"				WPS No.: 001 PQR de Soporte No.: 001 Fecha: 10/08/2013 Realizado por: Jaime Sailema					
JUNTA UTILIZADA				POSICIÓN DE SOLDADURA					
Tipo de junta:	ATOPE			Posición de Soldadura:	3G				
Abertura raíz (e):	2,0 +/- 0.5 mm			Progresión:	Ascendente				
Talón (c):	2,0 +/-0.5mm								
Angulo de ranura (β):	60°			Técnica:	Vanos pases				
Placa de respaldo:	N								
Cordón de respaldo:	sí								
Preparar bisel:	sí								
METAL BASE				PRECALENTAMIENTO					
Especificación:	ASTM A 588			Espesor nominal < 19 mm.	Temperatura ambiente				
Espesor (t):	20,0 mm			Espesor nominal > 19 mm.:	80-150° C				
METAL DE APORTE				TÉCNICA DE SOLDADURA					
Proceso:	FCAW			Soldadura de:	RANURA				
				Proceso de soldadura:	FCAW				
				Tipo de Soldadura:	Semiautomática				
Diámetro:	1,2 mm.			Cordón de respaldo:	Si				
Denominación AWS:	E 81T1-Ni1			Pase múltiples o simples (por lado)	Múltiples				
Velocidad de alimentación (m/min)	2,5-3			Electrodos Múltiples o únicos	Único				
Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo.	10-15mm.			Cordón Recto u Oscilante	Oscilante				
Casa Comercial:	INDURA			Limpieza:					
				Primer pase	Grata				
GAS DE PROTECCIÓN				Pases siguientes:		Grata			
Tipo: Caudal:	CO2 (100%) 20~25tt/min			Pase de respaldo:		Disco			
NOTAS									
• Asegurar limpieza de las partes, Verificar alineación de la junta, La velocidad de enfriamiento después de la soldadura debe ser lenta.									
DETALLE DE LA JUNTA									
									
CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN									
N° DE PASE	Material De Aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De Avance (mm/min)	Progresión	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de polaridad	Intensidad (amperios)				Oscilado	Recto
1	E 81T1-Ni1	1,2	DC	140-160	24-30	120-150	Ascendente	X	
2	E 81T1-Ni1	1,2	DC	170-190	24-30	130-170	Ascendente	X	
3-n	E 81T1-Ni1	1,2	DC	180-200	24-30	100-140	Ascendente	X	

WPS especificaciones del procedimiento de soldadura de junta a Filete

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) WPS N° 002									
Institución: Universidad Técnica de Ambato Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002 "BRIDGE WELDING CODE"				WPS No.: 002 PQR de Soporte No.: 002 Fecha: 10/08/2013 Realizado por: Jaime Sailema					
JUNTA UTILIZADA				POSICIÓN DE SOLDADURA					
Tipo de junta:	ENT			Posición de Soldadura:	3F				
Abertura raíz (e):	N/A			Progresión:	Ascendente				
Talón (c):	N/A								
Angulo de ranura (β):	N/A			Técnica:	Vanos pases				
Placa de respaldo:	No								
Cordón de respaldo:	No								
Preparar bisel:	No								
METAL BASE				PRECALENTAMIENTO					
MATERIAL BASE	Alma(t1)	Patín(t2)		Esesor nominal < 19 mm.	Temperatura ambiente				
Especificaciones	ASTM A 588	ASTM A 588		Esesor nominal > 19 mm.:	80-150° C				
Esesor(t)	12mm	20mm							
METAL DE APORTE				TÉCNICA DE SOLDADURA					
Proceso:	FCAW			Soldadura de:	FILETE				
				Proceso de soldadura:	FCAW				
				Tipo de Soldadura:	Semiautomática				
Diámetro:	1,2 mm.			Cordón de respaldo:	No				
Denominación AWS:	E 81T1-Ni1			Pase múltiples o simples (por lado)	Dos lados				
Velocidad de alimentación (m/min)	2,5-3			Electrodos Múltiples o únicos	Único				
Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo.	10-15mm.			Cordón Recto u Oscilante	Oscilante				
Casa Comercial:	INDURA			Limpieza:					
				Primer pase	Grata				
GAS DE PROTECCIÓN				Pasos siguientes:					
Tipo: Caudal:	CO2 (100%) 20~25tt/min			Grata					
NOTAS									
• Asegurar limpieza de las partes, Verificar alineación de la junta, La velocidad de enfriamiento después de la soldadura debe ser lenta.									
DETALLE DE LA JUNTA									
									
CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN									
N° DE PASE	Material De Aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De Avance (mm/min)	Progresión	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de polaridad	Intensidad (amperios)				Oscilado	Recto
1	E 81T1-Ni1	1,2	DC	140-160	24-30	120-150	Ascendente	X	
2-n	E 81T1-Ni1	1,2	DC	170-190	24-30	130-170	Ascendente	X	

PQR Registro de calificación del procedimiento de soldadura de probetas a tracción, Impacto, Doblez.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) PQR N° 001					
Institución: Universidad Técnica de Ambato Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002 "BRIDGE WELDING CODE"			PQR No.: 001 Fecha: 10/08/2013 Realizado por: Jaime Sailema		
JUNTA UTILIZADA			POSICIÓN DE SOLDADURA		
Tipo de junta:	ATOPE		Posición de Soldadura:	3G	
Abertura raíz (e):	2,0 +/- 0.5 mm				
Talón (c):	2,0 +/-0.5mm		Progresión:	Ascendente	
Angulo de ranura (β):	60°				
Placa de respaldo:	No				
Cordón de respaldo:	Sí		Técnica:	Vanos pases	
Preparar bisel:	sí				
METAL BASE			PRECALENTAMIENTO		
Especificación:	ASTM A 588		Esesor nominal < 19 mm.	Temperatura ambiente	
Esesor (t):	20,0 mm		Esesor nominal > 19 mm.:	80-150° C	
METAL DE APORTE			TÉCNICA DE SOLDADURA		
Proceso:	FCAW		Soldadura de:	RANURA	
			Proceso de soldadura:	FCAW	
			Tipo de Soldadura:	Semiautomática	
Diámetro:	1,2 mm.		Cordón de respaldo:	Si	
Denominación AWS:	E 81T1-Ni1		Pase múltiples o simples (por lado)	Múltiples	
Velocidad de alimentación (m/min)	2,5-3		Electrodos Múltiples o únicos	Único	
MÁQUINA DE SOLDAR			Cordón Recto u Oscilante		Oscilante
Tipo de maquina	INVERTEC-350		Limpieza:		
Potencia:	7KVA		Primer pase	Grata	
GAS DE PROTECCIÓN			Pases siguientes:		Grata
Tipo: Caudal:	CO2 (100%) 20~25tt/min		Pase de respaldo:		Disco
DETALLE DE LA JUNTA					
					
PARÁMETROS DE SOLDADURA					
Pase No:	RAÍZ	CALIENTE	RELLENO	PRESENTACIÓN	
Proceso:	FCAW	FCAW	FCAW	FCAW	
Material de Aporte:	E81T1-Ni-1	E81T1-Ni-1	E81T1-Ni-1	E81T1-Ni-1	
Diámetro:	1,2	1,2	1,2	1,2	
Velocidad de Alimentación (m/min)	2,5	3	3	3	
Velocidad de Soldadura(mm/min)	120-150	130-170	100-140	100-140	
Voltaje:	24-30	24-30	24-30	24-30	
Amperaje:	140-150	180-190	180-200	180-200	
Dirección:	ASCENDENTE	ASCENDENTE	ASCENDENTE	ASCENDENTE	
Tipo de corriente y polaridad:	DC+	DC+	DC+	DC+	
Código de soldadura:	WPS 001	WPS 001	WPS 001	WPS 001	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)
PQR N° 001**

Institución: Universidad Técnica de Ambato
Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002
"BRIDGE WELDING CODE"

PQR No.: 001
Fecha: 10/08/2013
Realizado por: Jaime Sailema

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

RESULTADOS DE TRACCIÓN (PROBETAS PLANAS)

IDENT.	APROBADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		OBSERVACIONES
FC-T1	SI	82000 PS1	565 MPa	Rotura en el Metal Base
FC-T2	SI	83600 PS1	577 MPa	Rotura en el Metal Base

Ensayo de Tracción: Califica: SI Descalifica:

RESULTADOS DE TRACCIÓN (PROBETAS SECCIÓN CIRCULAR)

IDENT.	APROBADO	R.TRACCIÓN	L. FLUENCIA	% EL.	OBSERVACIONES
R-T1	SI	658,4 MPa	552,3MPa	27,58	Rotura en el Metal Base

Ensayo de Tracción: Califica: SI Descalifica:

RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLADO

IDENT.	APROBADO	OBSERVACIONES
FC-1DL	SI	Se observa una indicción abierta de 0,7mm
FC-2DL	SI	No se observa ninguna observación abierta
FC-3DL	SI	Se observa una indicción abierta de 2,4mm
FC-4DL	SI	No se observa ninguna observación abierta

Ensayo de dobléz: Califica: SI Descalifica:

RESULTADOS DE ENSAYO IMPACTO

IDENT.	APROBADO	ENERGÍA DE IMPACTO	
FCH-2	SI	48,8 J	36 Lbf-ft
FCH-3	SI	70,5 J	52 Lbf-ft
FCH-5	SI	56,9 J	42 Lbf-ft

Ensayo de Impacto: Califica: SI Descalifica:

LIMITACIONES DE CALIFICACIÓN:

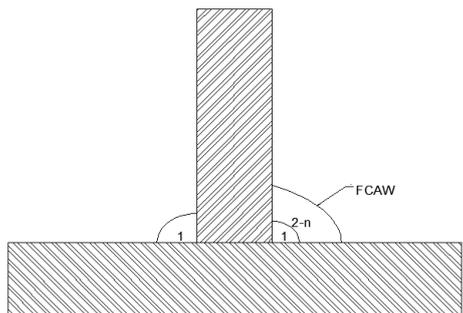
El procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de ranura en placas de posición vertical(3G ascendente)

El proceso de soldadura utilizado es FCAW

Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con ASTM A 588

Límite de calificación en material de aporte: E81T1-Ni1

PQR Registro de calificación del procedimiento de soldadura de probetas a macrografía.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRÓ DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)					
PQR N° 002					
Institución: Universidad Técnica de Ambato Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002 "BRIDGE WELDING CODE"			PQR No.: 002 Fecha: 10/08/2013 Realizado por: Jaime Sailema		
JUNTA UTILIZADA			POSICIÓN DE SOLDADURA		
Tipo de junta:	ENT		Posición de Soldadura:	3F	
Abertura raíz (e):	N/A		Progresión:	Ascendente	
Talón (c):	N/A				
Angulo de ranura (β):	N/A		Técnica:	Vanos pases	
Placa de respaldo:	No				
Cordón de respaldo:	No				
Preparar bisel:	No				
METAL BASE			PRECALENTAMIENTO		
MATERIAL BASE	Alma(t1)	Patín(t2)	Espesor nominal < 19 mm.	Temperatura ambiente	
Especificaciones	ASTM A 588	ASTM A 588	Espesor nominal > 19 mm.:	80-150° C	
Espesor(t)	12mm	20mm			
METAL DE APORTE			TÉCNICA DE SOLDADURA		
Proceso:	FCAW		Soldadura de:	FILETE	
			Proceso de soldadura:	FCAW	
			Tipo de Soldadura:	Semiautomática	
Diámetro:	1,2 mm.		Cordón de respaldo:	No	
Denominación AWS:	E 81T1-Ni1		Pase múltiples o simples (por lado)	Dos lados	
Velocidad de alimentación (m/min)	2,5-3		Electrodos Múltiples o únicos	Único	
MÁQUINA DE SOLDAR			Cordón Recto u Oscilante	Oscilante	
Tipo de maquina	INVERTEC-350		Limpieza:		
Potencia:	7KVA		Primer pase	Grata	
GAS DE PROTECCIÓN			Pases siguientes:	Grata	
Tipo: Caudal:	CO2 (100%) 20~25tt/min				
DETALLE DE LA JUNTA					
					
PARÁMETROS DE SOLDADURA					
Pase No:	RAÍZ	CALIENTE	RELLENO Y PRESENTACIÓN		
Proceso:	FCAW	FCAW	FCAW		
Material de Aporte:	E81T1-Ni-1	E81T1-Ni-1	E81T1-Ni-1		
Diámetro:	1,2	1,2	1,2		
Velocidad de Alimentación (m/min)	2,5	3	3		
Velocidad de Soldadura(mm/min)	120-150	130-170	100-140		
Voltaje:	24-30	24-30	24-30		
Amperaje:	140-150	180-190	180-200		
Dirección:	ASCENDENTE	ASCENDENTE	ASCENDENTE		
Tipo de corriente y polaridad:	DC+	DC+	DC+		
Código de soldadura:	WPS 001	WPS 001	WPS 001		



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)
PQR N° 002**

Institución: Universidad Técnica de Ambato
Según Norma: AWS D1.5 M/ 2002
"BRIDGE WELDING CODE"

PQR No.: 002
Fecha: 10/08/2013
Realizado por: Jaime Sailema

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

INSPECCIÓN VISUAL: Presenta una buena fusión y penetración en la raíz, el cordón de presentación muestra una buena uniformidad libre de porosidades y mordeduras.

INSPECCIÓN VISUAL DE LAS PROBETAS EXTRAÍDAS

IDENT.	APROBADO	OBSERVACIONES
FC-1M	SI	Cordón de soldadura buena uniformidad
FC-2M	SI	Cordón de soldadura buena uniformidad
FC-3M	SI	Cordón de soldadura buena uniformidad
FC-4M	SI	Cordón de soldadura buena uniformidad

Inspección visual : Califica: SI Descalifica:

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

RESULTADOS DE ENSAYO MACROGRÁFICO

IDENT.	APROBADO	OBSERVACIONES
FC-1M	SI	Presentan buena penetración de raíz, buena fusión entre el material base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura, no se observa fisuras, porosidades ni mordeduras.
FC-2M	SI	
FC-3M	SI	
FC-4M	SI	

Ensayo Macrográfico: Califica: SI Descalifica:

LIMITACIONES DE CALIFICACIÓN:

El procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de FILETE en placas de posición vertical(3F ascendente)

El proceso de soldadura utilizado es FCAW

Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con ASTM A 588

Límite de calificación en material de aporte: E81T1-Ni1

6.8.- Administración

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 6.1 en donde se desglosan los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6. 1 Desglose de gastos invertidos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
RECURSOS MATERIALES					
1	Plancha de Acero ASTM A 588 grado A	30	kg	8	240
2	Rollo de Alambre tubular E81T1-Ni1	1	u	90	90
3	Electrodo E 7018 1/8" INDURA	1	u	30	30
4	Electrodo E 6010 5/32" INDURA	1	u	18	18
5	Lima Plana (fina)	1	u	3	3
6	Arco de sierra	3	u	1,5	3
7	Disco de corte	3	u	2,5	7,5
8	Disco de Pulir	2	u	2	4
9	Pliego de lijas #600	4	u	0,8	3,2
10	Pliego de lijas #400	4	u	0,8	3,2
11	Pliego de lijas #240	4	u	0,8	3,2
12	Pliego de lijas #80	4	u	0,8	3,2
13	Corte y biselado de probetas	2	u	15	30
14	Soldado de probetas (junta a tope)	2	u	35	70
16	Soldado de probetas (junta a filete)	2	u	25	50
17	Mecanizado de probetas (tracción)	6	u	8	48
18	Mecanizado de probetas (Impacto)	12	u	7	84
19	Ensayos destructivos	18	u	9	162
VARIOS					
20	Material de oficina	1	u	100	100
21	Internet	1	u	60	60
22	Transporte	1	u	80	80
23	Impresiones	1	u	100	100
TOTAL DE RECURSOS MATERIALES (\$)					1192

6.9.- Prevención de la Evaluación

Una vez concluido el trabajo de investigación se ha podido determinar que el proceso de soldadura FCAW con material de aporte alambre E81T1-Ni1 y gas protector CO₂ es el que presento mejores propiedades mecánicas en las juntas soldadas.

Este estudio fue realizado en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad Técnica de Ambato, como en los laboratorios de Análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

Con la implementación de este proceso de soldadura se da un aporte importante al área de materiales y específicamente a la soldadura de las juntas, debido a que se determina el mejor proceso de soldadura que se debe aplicar en la construcción de vigas metálicas en puentes colgantes, para mejorar la calidad y la vida útil de estos elementos que están expuestos a diferentes cargas y esfuerzos.

Esta investigación puede servir de referencia para posteriores investigaciones con otro tipo de material y distintos espesores, para mejorar las propiedades mecánicas para este tipo de juntas u otros tipos en la fabricación de vigas metálicas de puentes colgantes.

7.-Bibliografía

- León. I. (2009), Guía de prevención de riesgos en los trabajos de soldadura, Impreso en Angelma. S.A.
- Carabali, Jonny L. (2006 – 2013), Welding process in the engineering. Atlantic International University.
- Ballardo F, Flores R, Vásquez F. (2011). Soldadura Smaw y Gmaw
- Flores E. (2008). Soldadura arco eléctrico Smaw, URL_08_MEC01.pdf pág. 2
- Garrido G. (2009). Armado estructural de un bloque en una construcción naval.
- Anónimo, Metalurgia, blogs. (2007). Soldadura-por-arco-con-núcleo.
- Manual Indura. (2011). archivos links/docu_392, pág. 4-5
- Calle T, Guía de laboratorio de resistencia de materiales, pág.1-3
- Hibbeler R. (2006), Mecánica de Materiales. Tercera Edición. México D.F.
- William C, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial Reverte.
- Vander V. (1984), Series in Materials Science and Engineering.
- Welding Handbook. (1998), Welding Metallurgy, 8va ed., vol. 1, Miami Fl.
- Benzo A (1995). Calificación de procedimiento de soldadura tubo/tubo usados en calderas”. Caracas.
- Gerdau A (2002), Compendio de normas para productos de acero, Primera Edición.
- William F. Smith (2006), Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Cuarta Edición.
- Martin M. (2008), Resistencia de Materiales I.

Páginas Web

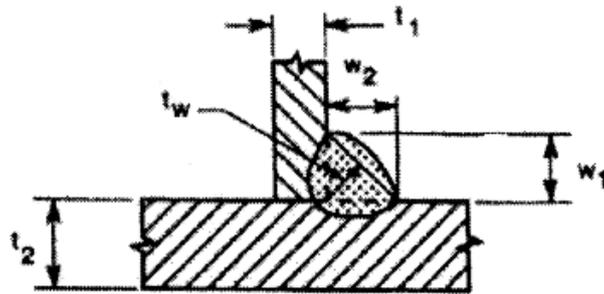
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf>
- https://www.dipuleon.es/img/File/UPD/soldadura_sueldaseguro%281%29.pdf
- http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_MEC01.pdf

- <http://solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>
- http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf
- <http://solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>
- http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual_catalogo%20soldadura.pdf

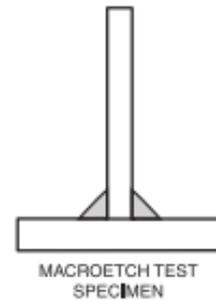
ANEXOS

Diseño de la Junta a Filete y a Tope

Anexo A1



WELD SIZE	T ₁ MIN	T ₂ MIN
5 [3/16]	12 [1/2]	5 [3/16]
6 [1/4]	20 [3/4]	6 [1/4]
8 [5/16]	25 [1]	8 [5/16]
10 [3/8]	25 [1]	10 [3/8]
12 [1/2]	25 [1]	12 [1/2]
16 [5/8]	25 [1]	16 [5/8]
20 [3/4]	25 [1]	20 [3/4]
>20 [>3/4]	25 [1]	25 [1]



Anexo A2

Single-V-groove weld (2)
Butt joint (B)

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances				
					As Detailed (see 2.12.1)	As Fit-Up (see 3.3.4)			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 to 3 f = 0 to 3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Not limited +10°, -5°	All	—	1, 3, 9
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 to 3 f = 0 to 3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Not limited +10°, -5°	All	Not required	3, 9
SAW	B-L2c-S	Over 12 to 25	—	R = 0 f = 6 min $\alpha = 60^\circ$	R = ± 0 f = +6, -0 $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -0 Not limited +10°, -5°	F	—	3, 9
		Over 25 to 38	—	R = 0 f = 10 min $\alpha = 60^\circ$					
		Over 38 to 50	—	R = 0 f = 12 min $\alpha = 60^\circ$					

Selección del electrodo

Anexo A3

NORMA AWS A5.11 (SPECIFICATION FOR COVERED CARBON STEEL
ARC WELDING ELECTRODOS)

Table 10
Requirements for preparation of fillet weld test assemblies

AWS Classification	Electrode size		Plate size ^a						Position of welding	Size of fillet weld	
			Thickness (T)		Width, min		Length ^b , min (L)				
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm		in.	mm
E6010 and E6011	{	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		5/32	4.0	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	1/4 max	6.4
		3/16	4.8	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
		7/32	5.6	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		1/4	6.4	1/2 12.7	3	75	18	450	H	1/4 min	6.4
5/16	8.0	Not required	-	-	-	-	-	-	-		
E6012 and E6013	{	1/16 to 1/8 (incl.)	1.6 to 3.2 (incl.)	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		5/32	4.0	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	1/4 max	6.4
		3/16	4.8	1/2 12.7	3	75	12	300	V and OH	3/8 max	9.5
		7/32	5.6	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		1/4	6.4	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
5/16	8.0	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0		
E7014	{	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required	-	-	-	-	-	-	
		5/32	4.0	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
		3/16	4.8	3/8 9.5	3	75	12	300	H	1/4 min	6.4
		7/32	5.6	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		1/4	6.4	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
5/16	8.0	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0		
E7015 and E7016	{	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required	-	-	-	-	-	-	
		5/32	4.0	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
		3/16	4.8	3/8 9.5	3	75	12	300	H	3/16 min	4.8
		7/32	5.6	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		1/4	6.4	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
5/16	8.0	Not required	-	-	-	-	-	-	-		
E7018	{	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required	-	-	-	-	-	-	
		5/32	4.0	3/8 9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
		3/16	4.8	3/8 9.5	3	75	12	300	H	1/4 min	6.4
		7/32	5.6	Not required	-	-	-	-	-	-	-
		1/4	6.4	1/2 12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
5/16	8.0	Not required	-	-	-	-	-	-	-		

Anexo A4

GRUPO	Requerimientos de Especificación de Acero					Requerimientos de Metales de Aporte			
	Especificación de Acero ^{a,b}		Punto mínimo de Resistencia cedencia		Rango de Tensión		Proceso	Especificación de Electrodo AWS ^c	Clasificación de Electrodo ^d
			ksi	MPa	ksi	MPa			
II	ASTM A 131	Grados AH32, DH32, EH32	46	315	68—85	470—585	SMAW	A5.1	E7015, E7016, E7018, E7028
		Grados AH36, DH36, EH36	51	350	71—90	490—620		A5.5 ^f	E7015-X, E7016-X, E7018-X
	ASTM A 441		40—50	275—345	60—70	415—485	SAW	A5.17	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	ASTM A 516	Grado 65	35	240	65—85	450—585			
		Grado 70	38	260	70—90	485—620	GMAW	A5.23 ^f	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
	ASTM A 537	Clase 1	45—50	310—345	65—90	450—620			
	ASTM A 570	Grado 50	50	345	65	450	FCAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Electrodos con los sufijos -GS estan excluidos)
		Grado 55	55	380	70	480			
	ASTM A 572	Grado 42	42	290	60 min	415 min	A5.28 ^f	ER70S-XXX, E70C-XXX	
	ASTM A 572	Grado 50	50	345	65 min	450 min			
	ASTM A 588 ^e	(4 in. [100 mm] y abajo)	50	345	70 min	485 min	A5.29 ^f	E7XTX-X E7XTX-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
	ASTM A 595	Grado A	55	380	65 min	450 min			
		Grados B and C	60	415	70 min	480 min	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
	ASTM A 606 ^e		45—50	310—340	65 min	450 min			
	ASTM A 607	Grado 45	45	310	60 min	410 min	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
		Grado 50	50	345	65 min	450 min			
		Grado 55	55	380	70 min	480 min	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
	ASTM A 618	Grados Ib, II, III	46—50	315-345	65 min	450 min			
	ASTM A 633	Grado A	42	290	63-83	430-570	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
		Grados C, D (2-1/2 in [65 mm] y abajo)	50	345	70—90	485—620			
	ASTM A 709	Grado 50	50	345	65 min	450 min	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
		Grado 50 W	50	345	70 min	485 min			
	ASTM A 710	Grado A, Clase 2 > 2 in. (50 mm)	55	380	65 min	450 min	A5.29 ^f	E7XTX-X E7XTX-XM	
	ASTM A 808	(2-1/2 in. [65mm] y abajo)	42	290	60 min	415 min			
	ASTM A 913	Grado 50	50	345	65 min	450 min	A5.29 ^f	E7XTX-X E7XTX-XM	
	ASTM A 992		50—65	345—450	65	450			
	API 2H	Grado 42	42	290	62—80	430—550	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
		Grado 50	50	345	70 min	485 min			
	API 2W	Grado 42	42—67	290—462	62 min	427 min	A5.20	E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)	
		Grado 50	50—75	345—517	65 min	448 min			
	Grado 50 T	50—80	345—552	70 min	483 min	A5.20	E7XTX-X E7XTX-XM		
API 2Y	Grado 42	42—67	290—462	62 min	427 min				
	Grado 50	50—75	345—517	65 min	448 min	A5.20	E7XTX-X E7XTX-XM		
	Grado 50T	50—80	345—552	70 min	483 min				
API 5L X	Grado X52	52	360	66—72	455—495	A5.20	E7XTX-X, E7XTX-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14, Y sufijos -GS estan excluidos)		
ABS	Grados AH32, DH32, EH32	45.5	315	71—90	490—620				
	Grados AH36, DH36, EH36 ^e	51	350	71—90	490—620				

Extracto de la Norma ASTM A 588

A 588/A 588M

5.4 When required, the manufacturer shall supply evidence of corrosion resistance satisfactory to the purchaser.

6. Tensile Requirements

6.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the requirements for tensile properties prescribed in Table 2.

7. Keywords

7.1 atmospheric corrosion resistance; bars; bolted construction; bridges; buildings; durability; high-strength; low-alloy; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; weight; welded construction

TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)

NOTE: 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

Element	Composition, %			
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade K
Carbon	0.19 max	0.20 max	0.15 max	0.17 max
Manganese	0.80–1.25	0.75–1.35	0.80–1.35	0.50–1.20
Phosphorus	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max
Sulfur	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.15–0.40	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.25–0.50	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.30–0.50	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.20–0.50	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	0.01–0.10	...
Columbium	...	...	...	0.005–0.05 ^a

^aFor plates under 1/2 in. in thickness, the minimum columbium is waived.

TABLE 2 Tensile Requirements^a

NOTE: 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. [100 mm] and Under	For Thick- nesses Over 4 in. [100 mm] to 5 in. [125 mm] incl	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm] to 8 in. [200 mm] incl	All Groups ^b
Tensile strength, min, ksi [MPa]	70 [485]	67 [460]	63 [435]	70 [485]
Yield point, min, ksi [MPa]	50 [345]	46 [315]	42 [290]	50 [345]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18 ^{c,d}	...	...	18 ^d
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^{c,d}	21 ^{c,d}	21 ^{c,d}	21 ^e

^aSee specimen orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

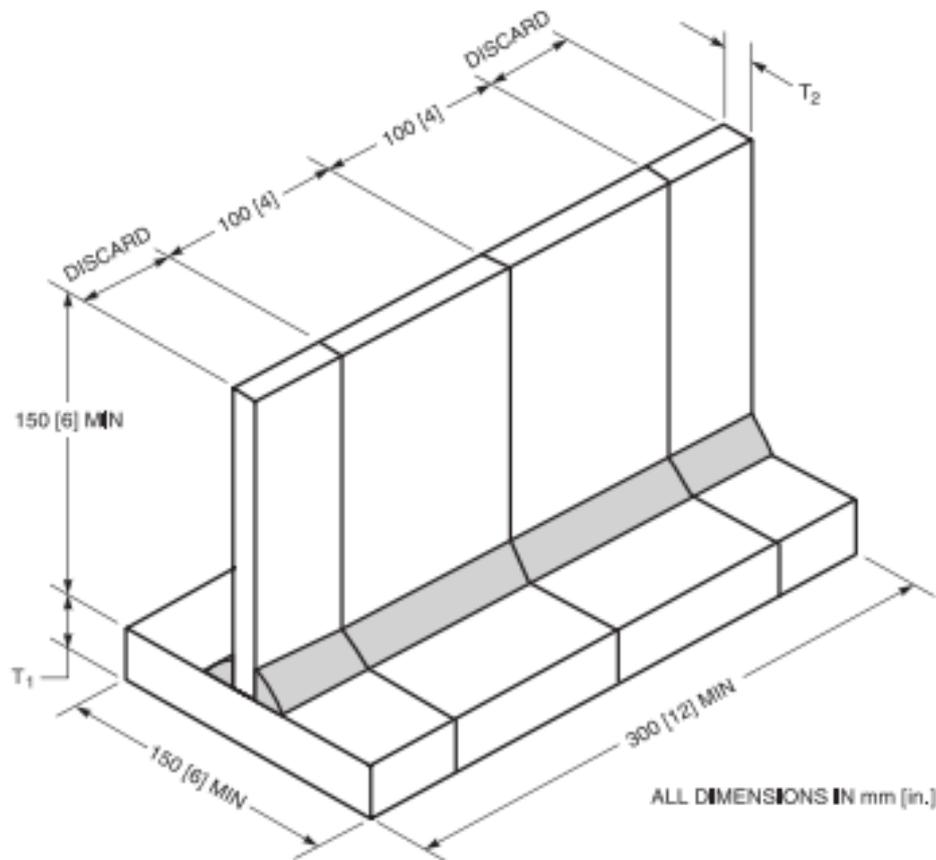
^bSee Specification A 6/A 6M.

^cElongation not required to be determined for floor plate.

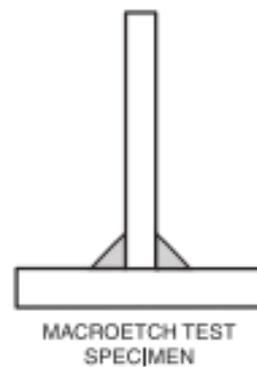
^dFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^eFor wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], elongation in 2 in. [50 mm] of 18 % minimum applies.

Extracto de la Norma AWS D 1.5



WELD SIZE	T ₁ MIN	T ₂ MIN
5 [3/16]	12 [1/2]	5 [3/16]
6 [1/4]	20 [3/4]	6 [1/4]
8 [5/16]	25 [1]	8 [5/16]
10 [3/8]	25 [1]	10 [3/8]
12 [1/2]	25 [1]	12 [1/2]
16 [5/8]	25 [1]	16 [5/8]
20 [3/4]	25 [1]	20 [3/4]
>20 [>3/4]	25 [1]	25 [1]



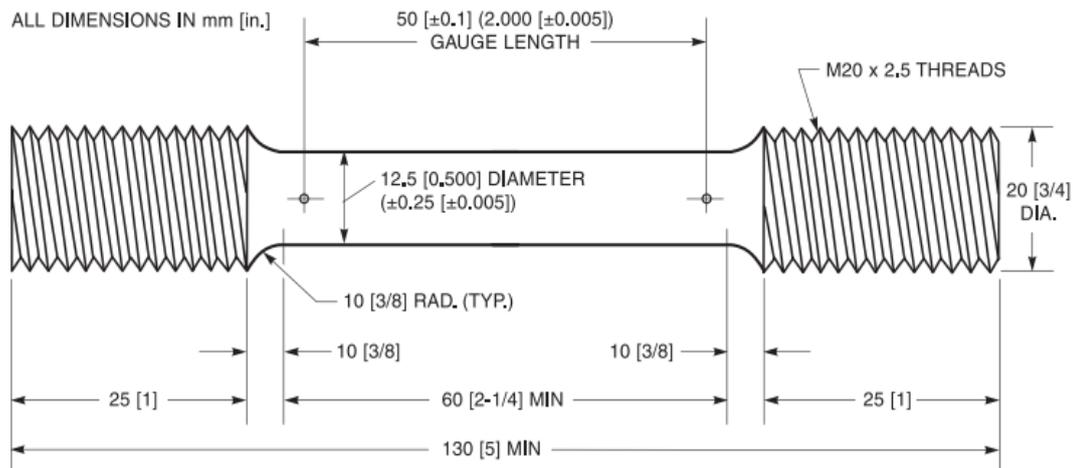
Especímenes requeridos para WPS

Table 5.5
Required Number of Test Specimens—WPS Qualification (see 5.16.3)

Test Plate Figure	All Weld Metal Tension Test	Reduced Section Tension Test	Side Bend Test	CVN Test	Groove Weld Macroetch Test	Fillet Weld Macroetch Test
5.1	1	2	4	5 ¹	(Note 2)	—
5.2	1	—	2	5	—	—
5.3	—	2	4	—	2	—
5.8	—	—	—	—	—	3

Notes:
1. Eight CVN tests shall be required for ESW and EGW.
2. When required by the Engineer.

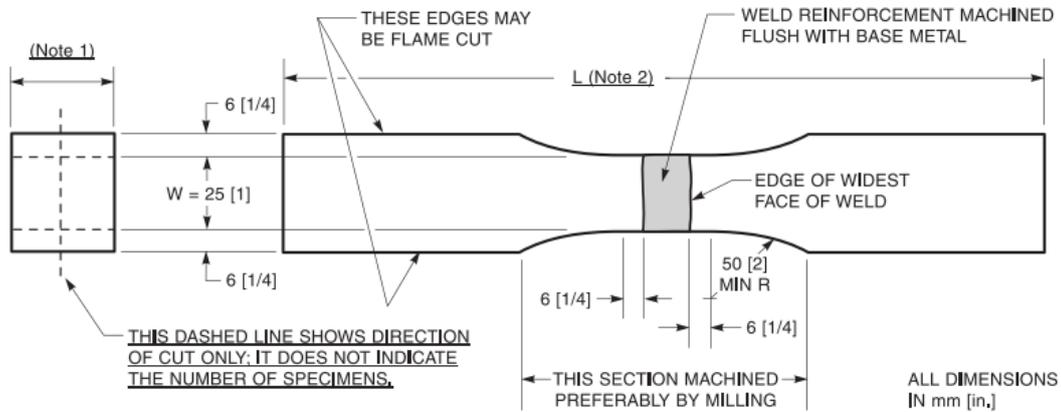
Dimensiones de la Probetas circulares del Ensayo de Tracción



General Notes:

- The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.1 mm [0.005 in.] larger in diameter than the center.
- The all-weld metal tension specimen shall be taken from the center of the thickness of the weld, and from the center of the width of the weld at this location.

Dimensiones de la Probetas Planas del Ensayo de Tracción

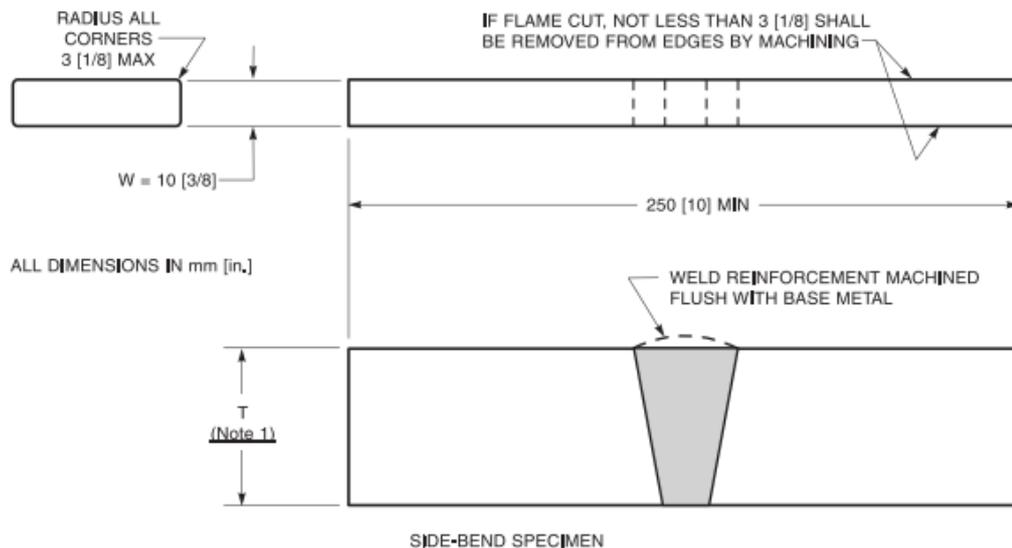


Notes:

1. T depends on the thickness of test plate shown in Figure 5.1 or Figure 5.3; see 5.6.
2. L shall be the overall length of the test specimen. The length shall be sufficient to facilitate gripping in the testing apparatus. When practicable, the specimen should extend into the grips a distance greater than or equal to 2/3 the length of the grip.

Figure 5.10—Reduced Section Tension Specimen (see 5.16.3)

Dimensiones de la Probetas del Ensayo de Doblez



Note:

1. T depends on the thickness of test plate shown in Figures 5.1, 5.2, and 5.3; see 5.6.

Figure 5.11—Side-Bend Specimen (see 5.16.3)

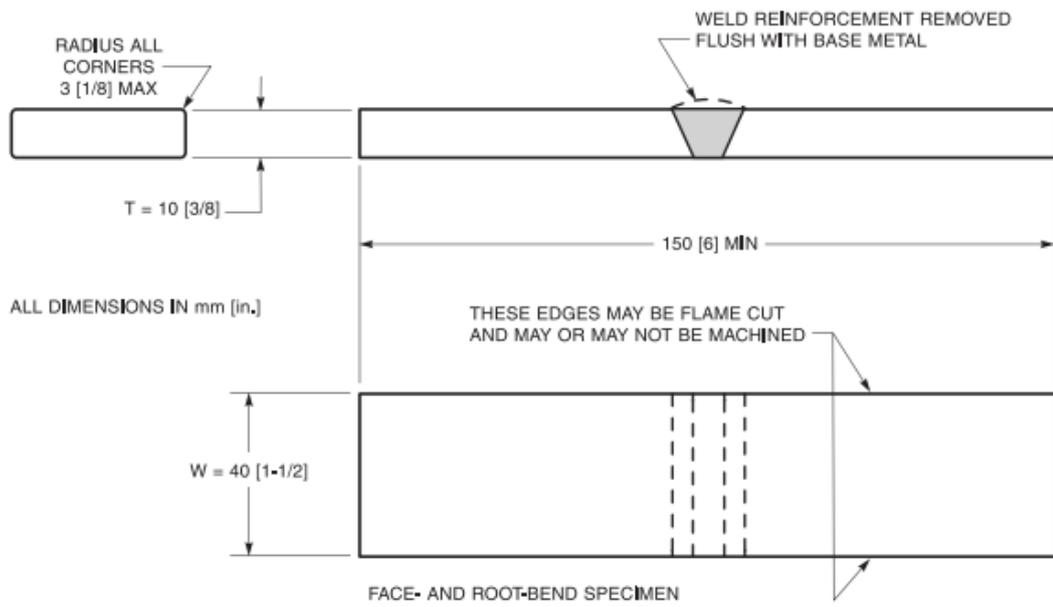
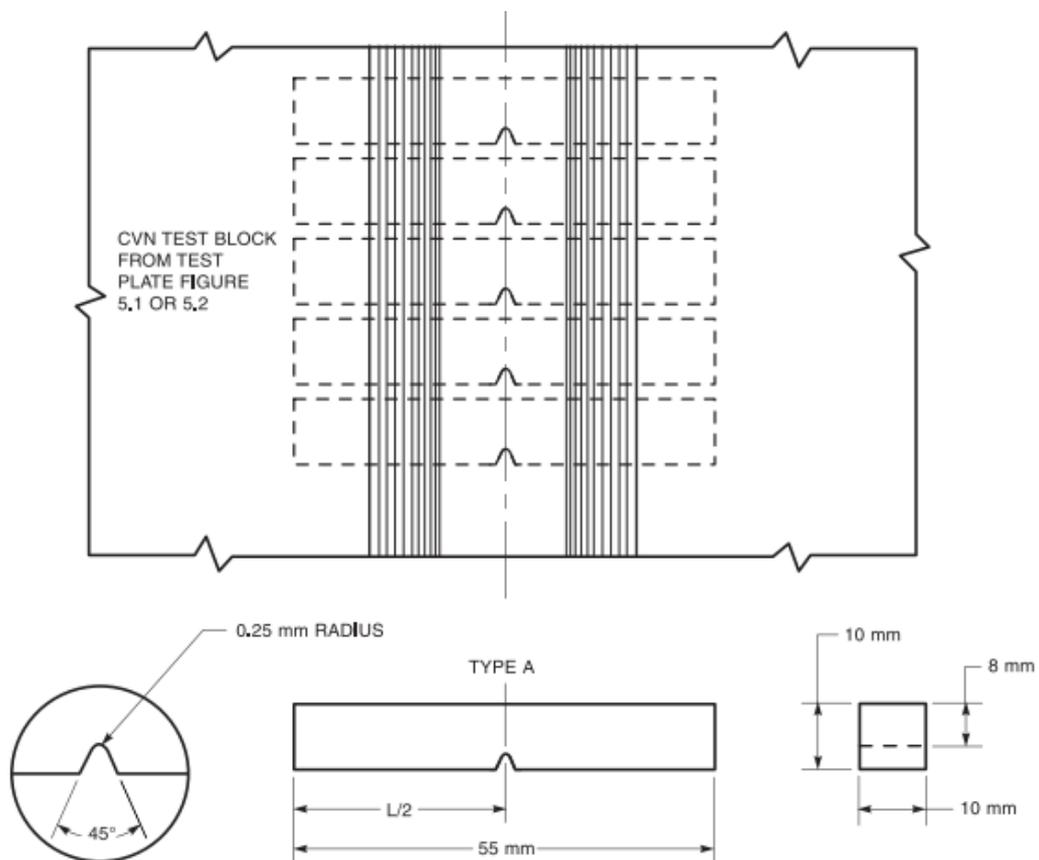


Figure 5.12—Face- and Root-Bend Specimen (see 5.16.3)

Dimensiones de la Probetas del Ensayo de Impacto



Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E 3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
 E 7 Terminology Relating to Metallography²
 E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
 E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
 E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
 E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
 E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
 E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

3. Significance and Use

3.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

3.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

4.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens from locations that are most likely to reveal the maximum variations within the material under study should be chosen. For example, specimens should be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation should be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens should be taken from each end of the coils.

4.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

4.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

be decided. For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting. In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may at times require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product. In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.3.1 Variations in structure from center to surface,

4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

4.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077),

4.3.4 Depth of surface imperfections,

4.3.5 Depth of corrosion,

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45),

4.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,

4.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

4.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

5. Size of Metallographic Specimens

5.1 The specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is round. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

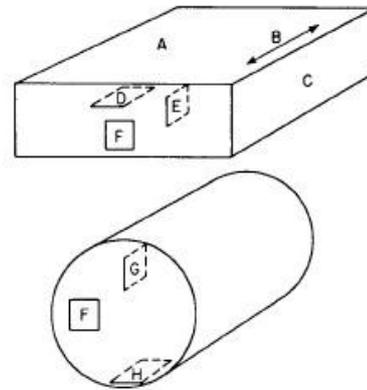
5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Sections 7-9).

6. Cutting of Metallographic Specimens

6.1 In cutting the metallographic specimen from the main



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to rolled surface
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that it can be recut to the proper size by some other method that will not substantially alter the structure. Exercise care to ensure that

the region of interest is not altered by the heat of the cutting flame.

6.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

7. Cleanliness

7.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases and oils on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting castable resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning is particularly effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

7.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects. The coating can be removed by digestion in cold nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H_2SO_4) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO_3 method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized.

7.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

8. Mounting of Specimens

8.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimens prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, flimsy, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

8.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two can be used to provide optimum results.

8.3 Mechanical Mounting

8.3.1 Strip and sheet specimens are frequently mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts. Clamp mounting generally affords a means of rapid mounting with very good edge retention.

8.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

8.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

8.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

8.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a

layer of phenolic or epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

8.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

8.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

8.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimens; however, good sealing is required to prevent absorption of polishing materials or etchants.

8.4 Plastic Mounting

8.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression mounting and castable.

8.4.2 When mounting specimens in plastic, exercise care in order to avoid rounding of specimen edges during the grinding operation. There are several methods available that prevent rounding. The specimens may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using casting resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen to prevent rounding. The specimens may also be plated before mounting (see Section 9).

8.4.3 *Compression Mounting*—Thermosetting plastics require the use of a mounting press providing heat (up to approximately 160°C) and pressure (up to approximately 30 MPa). *The finished mounts can be ejected hot but the best results are obtained when the finished mount is cooled under pressure.* There are three types of thermosetting compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory. Regardless of the resin used to compression mount specimens, the best results are obtained when (1) the specimens are clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 30°C before ejection from the press.

8.4.3.1 Wood-filled bakelite resins cure in 5 to 10 min, are relatively inexpensive, can be obtained in several colors, and are opaque. These resins have a tendency to pull away from the specimen leaving a crevice, which will trap liquids that later can smear, stain, and obscure a portion of the specimen.

8.4.3.2 Diallyl phthalate resins are less likely to shrink and are more resistance to attack by etchants. They are more expensive than the phenolic resins with about the same hardness.

8.4.3.3 Filled dry epoxy resins provide minimal shrinkage. Commercial resins intended for metallography are usually filled with hard material, minimizing edge rounding during preparation. These resins are the most expensive of the three types of thermosetting plastics. Cost can be reduced by first adding a layer of filled epoxy resin and filling up the remainder of the press cavity with phenolic resin.

8.4.3.4 Resins are used in a similar fashion. Because of the

adhesive characteristics of the resins, a mold release agent should be applied to the surface of the mold. Do not apply the release agent to the specimen. The specimen is placed in a heated mold face down (the surface to be ground). The appropriate amount of resin is poured over the specimen, the mold is closed, and pressure is applied. The pressure is released at the end of the cure, the mold opened, and the finished mount ejected. As noted in 8.4.3, shrinkage can be minimized by cooling to room temperature under pressure. Modern automated mounting presses can apply pressure and heat, time the cure, and cool the mount under pressure.

8.4.3.5 Acrylic thermosetting resins produce transparent mounts. They require cooling under pressure. Heat and pressure must be carefully applied to avoid formation of "cotton ball" defects in the center of the mount.

8.4.4 *Castable Plastics*—Castable resins are used at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are three kinds of castable plastics in common use:

8.4.4.1 Acrylic resins consist of a powder and liquid, and cure rapidly (from 8 to 15 min) to a moderate hardness. These resins exhibit low abrasion resistance and a tendency to pull away from the specimen. They also tend to give off an unpleasant odor and enough heat during curing to alter the microstructure of some as-quenched steels.

8.4.4.2 Polyesters consist of two liquids, and cure to form water-clear mounts with little heat evolution, low shrinkage, and low hardness. The cure takes 1 to 3 h and the mixing ratio is critical. They are more expensive than the acrylic resins.

8.4.4.3 Epoxy resins have the best properties concerning transparency, heat generation, shrinkage, adhesion to the specimen, and hardness of the three castable resins. They are expensive. Cure times vary broadly, from 1 to 1½ h for some formulations to 4 to 8 h for others. Some formulations require cooling and others heating.

8.4.4.4 The molds for castable plastics are simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

8.5 *Mounting Porous Specimen:*

8.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold into a vacuum chamber fitted with a funnel and a stopcock, or a similar commercially available evacuation device, so that the resin can be poured into the mold from outside. A low-viscosity resin will produce the best results but ordinary metallographic resins will work well. The vacuum chamber is then evacuated. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to avoid evaporating away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes. Very porous specimens

may be turned using a wooden applicator after opening to the atmosphere to ensure the impregnation of the face-down side. The surface to be polished must be returned to the down-side position before the resin starts to set.

8.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The resin is placed in the cup prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Again, turn the specimen over to ensure impregnation of the bottom side. Remember to turn the specimen back over again before the resin starts to set.

8.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for metallographic mounts. It is imperative that porous specimens be completely dry prior to impregnation.

8.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

9. *Plating of Specimens*

9.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures.

9.2 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

9.3 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating so as to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

9.4 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

9.5 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

9.6 The plating material should be softer, but not much softer, than the specimen in order to avoid differential polishing that may mask the specimen edge. The plating material should not react electrolytically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

9.7 Electroless plating is preferred to electrolytic plating for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

9.8 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10. Grinding and Polishing

10.1 *General*—Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences, though, will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Some composite materials, however, require lapping as a critical step when traditional approaches are not satisfactory. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

10.2 *Grinding*—Grinding consists of two stages—rough and fine.

10.2.1 *Rough Grinding*—Rough grinding (180 grit and coarser) is used to accomplish the following:

- 10.2.1.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,
- 10.2.1.2 Remove scale and other surface conditions prior to mounting,
- 10.2.1.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,
- 10.2.1.4 Remove plastic mounting flash, level the mount surface, and bevel mount edges before fine grinding, and
- 10.2.1.5 Rough grinding may be performed on belts or rotating wheels. In some methods 45 or 30- μm diamond abrasives are used on hard platens.

10.2.2 *Fine Grinding*—In fine grinding, the specimen is ground on successively finer abrasive papers using water to wash away grinding debris and to act as a lubricant. The specimen should be cleaned between successive papers to prevent carryover of coarser abrasive.

10.2.2.1 Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number of specimens to be done, financial considerations, and requirements such as flatness, uniformity, and so forth. Grinding on abrasive-coated rotating disks using hand-held specimens is the traditional method. Mechanical devices to hold the specimen against abrasive-covered rotating disks are becoming increasingly common. Many of these machines permit automated grinding, providing surfaces superior to hand-held specimens.

10.2.2.2 Grinding should start with the finest paper capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The next paper should remove the effects of the prior paper in a short time. A typical sequence of papers might be 240, 320, 400, and 600-grit abrasive papers. Depending on the smoothness of the specimen surface, some of the coarser paper grades can be skipped.

10.2.2.3 In the hand-held methods, the specimen is rotated 90° between papers to determine when the prior set of scratches have been removed. The specimen should also be moved back and forth across the paper to prevent grooving of the specimen. At the end of the grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

10.2.2.4 Most of the devices for automatic grinding move the specimen around a rotating wheel covered with abrasive so

that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The scratch pattern now consists of random arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages may be necessary to prevent carryover of abrasives and contamination of grinding surfaces. Manufacturer's instructions will include suggested machine settings for grinding various metals.

10.2.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water-detergent bath is recommended. In hand operations, the hands must be washed also, exercising care to clean beneath fingernails.

10.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation.

10.3.1 The use of graded diamond paste or suspensions as the abrasive can reduce the number of combinations markedly. Those supports most commonly used are non-napped cloths such as nylon or nonwoven textiles available for metallographic purposes.

10.3.2 The final polish may be 1- μm diamond abrasive. For high-resolution work, this diamond polish may be followed by polishing on a short nap synthetic suede using an aqueous suspension of 0.05- μm gamma alumina or colloidal silica. Other abrasives and supports often are required depending on the particular task in hand. This step should be kept to the shortest time possible to prevent edge rounding, pitting, or other artifacts. Twenty to forty seconds should be sufficient if the previous steps have been correctly performed.

10.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning is recommended between each polishing step.

10.3.4 The polishing operations may be conducted by hand or by automatic methods.

10.3.4.1 Hand methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in an elliptical path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel. Just how firm and just how fast to go around the wheel is a matter of experience and personal preference. In the preparation of advanced materials, the operating parameters must be strictly controlled.

10.4 *Automatic Grinding and Polishing*

10.4.1 Many styles of automatic specimen preparation machinery are available. The most common units can perform all grinding and polishing steps. They use disk fixtures accommodating multiple specimens; the specimens remain in the fixture throughout the preparation. Major advantages in using automatic grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time required for preparing large number of specimens. Careful attention to cleanliness and prevention of cross-contamination from abrasives and residues between steps, particularly in

polishing, is required. Ultrasonic cleaning is recommended.

10.4.2 An initial coarse-grinding step is required to make all specimen surfaces co-planar and parallel to the fixture. This step is usually used to remove damage to the specimens from sectioning operations. Fine grinding uses either a graded abrasive paper series or a single step with an intermediate (9 or 6 μm) diamond abrasive on a permanent, grooved wheel to prepare the specimens for polishing. As an alternative, lapping platens may be used to replace the finegrinding paper sequence. This approach offers the greatest benefits when very hard or highly dissimilar materials must be prepared.

10.4.3 One polishing step will often suffice for examination up to 100X, using a 3 or 1- μm diamond abrasive on napless cloth. Two steps will suffice for almost all requirements, with the second step using a finer diamond on a napless or low-nap cloth. A third step with fine alumina or colloidal silica on a low-nap cloth can be used for final polishing but relief polishing will be encountered proportionate to the specimen load and polishing time used.

11. Special Procedures

11.1 Occasionally, every metallographer is faced with the preparation of unusual specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered. Common sense is imperative.

11.1.1 Electrolytic polishing produces totally deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E 1558.

11.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on a number of alloys. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously, resulting in a high through-put. It is especially advantageous for soft materials.

11.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated with plastic or some other liquid that will solidify. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with a liquid mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of liquid for impregnation or sealing depends on the nature of the sample. It should, of course, be inert toward the specimen.

11.2.1 Impregnation can be accomplished by vacuum impregnation (see 8.4.4.5 through 8.4.4.8) in the specimen.

11.3 *Composite Materials*—Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation, can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few defects (scratches) or rounded edges. If automatic methods are available, high-polishing pressures

and high-nap substrates may provide an alternative method.

11.4 Coated Materials:

11.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

11.4.2 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

11.4.3 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example, electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate.

11.4.4 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-filled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

11.5 Fragile specimens should be mounted in one of the liquid cold mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see section 8.4.4.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

11.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

12. Precision and Bias

12.1 Because use of this practice does not produce numerical results, no statement of precision or bias is possible.

13. Keywords

13.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; specimen preparation (metallographic)

Extracto de la Norma ASTM E112

ASTM E112 - 10

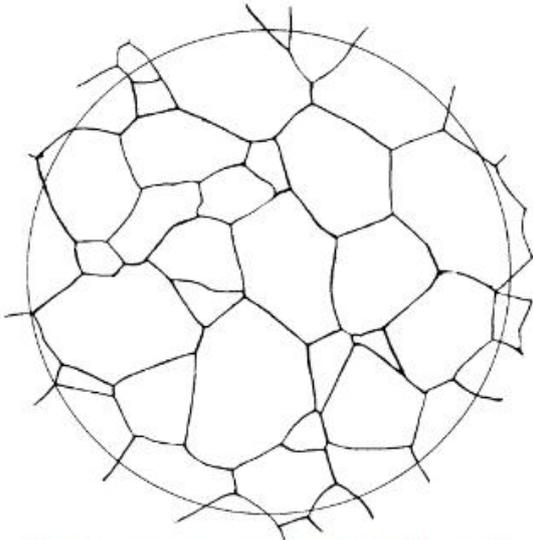


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

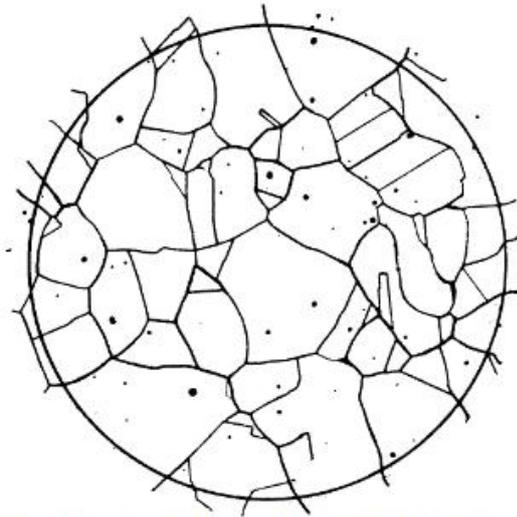


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 **Table 1** lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use *Plate III*.

Note 1—Examples of grain-size standards from *Plates I, II, III, and IV* are shown in **Fig. 1**, **Fig. 2**, **Fig. 3**, and **Fig. 4**.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in **5.2**.

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

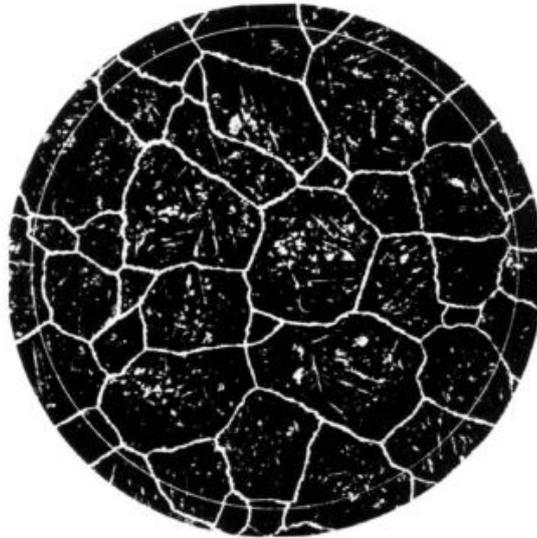


FIG. 4 Example of Austenite Grains in Steel from Plate IV. Grain Size No. 3 at 100X

TABLE 2 Microscopically Determined Grain Size Relationships Using Plate III at Various Magnifications

NOTE 1—First line—mean grain diameter, d , in mm; in parentheses—equivalent ASTM grain size number, G .

NOTE 2—Magnification for Plate III is 75X (row 3 data).

Magnification	Chart Picture Number (Plate III)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25X	0.015 (9.2)	0.030 (7.2)	0.045 (6.0)	0.060 (5.2)	0.075 (4.5)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.150 (2.5)	0.180 (2.0)	0.210 (1.6)	0.270 (0.8)	0.360 (0)	0.451 (0/00)	0.600 (00+)
50X	0.0075 (11.2)	0.015 (9.2)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.053 (5.6)	0.0675 (4.8)	0.075 (4.5)	0.090 (4.0)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.180 (2.0)	0.225 (1.4)	0.300 (0.5)
75X	0.005 (12.3)	0.010 (10.3)	0.015 (9.2)	0.020 (8.3)	0.025 (7.7)	0.035 (6.7)	0.045 (6.0)	0.050 (5.7)	0.060 (5.2)	0.070 (4.7)	0.090 (4.0)	0.120 (3.2)	0.150 (2.5)	0.200 (1.7)
100X	0.00375 (13.2)	0.0075 (11.2)	0.0112 (10.0)	0.015 (9.2)	0.019 (8.5)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.0375 (6.5)	0.045 (6.0)	0.053 (5.6)	0.067 (4.8)	0.090 (4.0)	0.113 (3.4)	0.150 (2.5)
200X	0.0019 (15.2)	0.00375 (13.2)	0.0056 (12.0)	0.0075 (11.2)	0.009 (10.5)	0.013 (9.6)	0.017 (8.8)	0.019 (8.5)	0.0225 (8.0)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.045 (6.0)	0.056 (5.4)	0.075 (4.5)
400X	—	0.0019 (15.1)	0.0028 (14.0)	0.0038 (13.1)	0.0047 (12.5)	0.0067 (11.5)	0.0084 (10.8)	0.009 (10.5)	0.012 (10.0)	0.0133 (9.5)	0.0168 (8.8)	0.0225 (8.0)	0.028 (7.3)	0.0375 (6.5)
500X	—	—	0.0022 (14.6)	0.003 (13.7)	0.00375 (13.1)	0.00525 (12.1)	0.0067 (11.5)	0.0075 (11.1)	0.009 (10.6)	0.010 (10.3)	0.0133 (9.5)	0.018 (8.7)	0.0225 (8.0)	0.03 (7.1)

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications are usually simple multiples of the basic magnifications.

NOTE 2—If the grain size is reported in ASTM numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q = 2 \log_2 (M/M_s) \quad (2)$$

$$= 6.64 \log_{10} (M/M_s)$$

where Q is a correction factor that is added to the apparent micro-grain size of the specimen, as viewed at the magnification, M , instead of at the basic magnification, M_s (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size

number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ($Q = -4$). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

TABLE 3 Macroscopic Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

NOTE 1—Macroscopically determined grain size numbers M-12.3, M-13.3, M-13.8 and M-14.3 correspond, respectively, to microscopically determined grain size numbers (G) 00, 0, 0.5 and 1.0.

Macro Grain Size No.	N_A Grains/Unit Area		A Average Grain Area		d Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		N_L	N
	No./mm ²	No./in. ²	mm ²	in. ²	mm	in.	mm	in.		
M-0	0.0008	0.50	1290.3	2.00	35.9	1.41	32.00	1.2	0.031	3.13
M-0.5	0.0011	0.71	912.4	1.41	30.2	1.19	26.91	1.0	0.037	3.72
M-1.0	0.0016	1.00	645.2	1.00	25.4	1.00	22.63	0.89	0.044	4.42
M-1.5	0.0022	1.41	456.2	0.707	21.4	0.841	19.03	0.74	0.053	5.26
M-2.0	0.0031	2.00	322.6	0.500	18.0	0.707	16.00	0.63	0.063	6.25
M-2.5	0.0044	2.83	228.1	0.354	15.1	0.595	13.45	0.53	0.074	7.43
M-3.0	0.0062	4.00	161.3	0.250	12.7	0.500	11.31	0.44	0.088	8.84
M-3.5	0.0088	5.66	114.0	0.177	10.7	0.420	9.51	0.37	0.105	10.51
M-4.0	0.0124	8.00	80.64	0.125	8.98	0.354	8.00	0.31	0.125	12.50
M-4.5	0.0175	11.31	57.02	0.0884	7.55	0.297	6.73	0.26	0.149	14.87
M-5.0	0.0248	16.00	40.32	0.0625	6.35	0.250	5.66	0.22	0.177	17.68
M-5.5	0.0351	22.63	28.51	0.0442	5.34	0.210	4.76	0.18	0.210	21.02
M-6.0	0.0496	32.00	20.16	0.0312	4.49	0.177	4.00	0.15	0.250	25.00
M-6.5	0.0701	45.26	14.26	0.0221	3.78	0.149	3.36	0.13	0.297	29.73
M-7.0	0.099	64.00	10.08	0.0156	3.17	0.125	2.83	0.11	0.354	35.36
M-7.5	0.140	90.51	7.13	0.0110	2.67	0.105	2.38	0.093	0.420	42.05
M-8.0	0.198	128.0	5.04	7.812	2.25	88.4	2.00	78.7	0.500	50.00
M-8.5	0.281	181.0	3.56	5.524	1.89	74.3	1.68	66.2	0.595	59.46
M-9.0	0.397	256.0	2.52	3.906	1.59	62.5	1.41	55.7	0.707	70.71
M-9.5	0.561	362.1	1.78	2.762	1.33	52.6	1.19	46.8	0.841	84.09
M-10.0	0.794	512.0	1.26	1.953	1.12	44.2	1.00	39.4	1.00	100.0
M-10.5	1.122	724.1	0.891	1.381	0.994	37.2	0.841	33.1	1.19	118.9
M-11.0	1.587	1024.1	0.630	0.977	0.794	31.2	0.707	27.8	1.41	141.4
M-11.5	2.245	1448.2	0.445	0.690	0.667	26.3	0.595	23.4	1.68	168.2
M-12.0	3.175	2048.1	0.315	0.488	0.561	22.1	0.500	19.7	2.00	200.0
M-12.3	3.908	2521.6	0.256	0.397	0.506	19.9	0.451	17.7	2.22	221.9
M-12.5	4.490	2896.5	0.223	0.345	0.472	18.6	0.420	16.6	2.38	237.8
M-13.0	6.349	4096.3	0.157	0.244	0.397	15.6	0.354	13.9	2.83	282.8
M-13.3	7.817	5043.1	0.128	0.198	0.358	14.1	0.319	12.5	3.14	313.8
M-13.5	8.979	5793.0	0.111	0.173	0.334	13.1	0.297	11.7	3.36	336.4
M-13.8	11.055	7132.1	0.091	0.140	0.301	11.8	0.268	10.5	3.73	373.2
M-14.0	12.699	8192.6	0.079	0.122	0.281	11.0	0.250	9.84	4.00	400.0
M-14.3	15.634	10086.3	0.064	0.099	0.253	9.96	0.225	8.87	4.44	443.8

10.9 The use of transparencies⁴ or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in

magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).⁵

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

⁴ Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112TS for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE11205T (Grain Size 00), ADJE11206T (Grain Size 0), ADJE11207T (Grain Size 0.5), ADJE11208T (Grain Size 1.0), ADJE11209T (Grain Size 1.5), ADJE11210T (Grain Size 2.0), ADJE11211T (Grain Size 2.5), ADJE11212T (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE11213T (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE11214T (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE11215T (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE11216T (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

⁵ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these test methods.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

$$Q_M = 2 \log_2 M \quad (3)$$

$$= 6.64 \log_{10} M$$

where Q_M is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification M , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ($Q = +2$), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3, A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called “Shepherd Fracture Grain Size Method” of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.⁶ It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered

ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

11. Planimetric (or Jeffries’) (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle or rectangle of known area (usually 5000 mm² to simplify the calculations) on a micrograph, a monitor or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries’ multiplier, f , in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre N_A . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X, N_A , is calculated from:

$$N_A = f \left(N_{\text{inside}} + \frac{N_{\text{intercepted}}}{2} \right) \quad (4)$$

where f is the Jeffries’ multiplier (see Table 5), N_{inside} is the number of grains completely inside the test circle and $N_{\text{intercepted}}$ is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, \bar{A} , is the reciprocal of N_A , that is, $1/N_A$,

⁶ A photograph of the Shepherd standard fractures can be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011224.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, f , for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) ($f = 0.0002 M^2$)

Magnification Used, M	Jeffries' Multiplier, f , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^a	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^a At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, f , becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

while the mean grain diameter, d , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of \bar{A} . This grain diameter has no physical significance because it represents the side of a square grain of area \bar{A} , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1.000 grains/in.² at 100X, hence 15.500 grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, G , can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

12. General Intercept Procedures

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make

TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size, G

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size, G , using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated G value of -1 corresponds to ASTM $G = 00$.

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	N_A in mm ⁻²
$G = (6.643856 \log_{10} \bar{N}_L) - 3.288$	\bar{N}_L in mm ⁻¹
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm ⁻¹
$G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$	ℓ in mm

separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number, G , and the mean lineal intercept, unlike the exact relationship between G , N_{AE} , N_A and \bar{A} (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi \bar{A}}{4} \right)^{1/2} \quad (5)$$

between the mean lineal intercept, ℓ , and the average grain area, \bar{A} , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number G and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2 \log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \quad (6)$$

$$G = 10.00 - 2 \log_2 \bar{\ell} \quad (7)$$

$$G = 10.00 + 2 \log_2 \bar{N}_L \quad (8)$$

where ℓ_0 is 32 mm and $\bar{\ell}$ and \bar{N}_L are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01 G units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance, $\bar{\ell}$, measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by $S_v = 2 \bar{N}_L$ when \bar{N}_L is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

Informe de Los ensayos destructivos de la Escuela Politécnica Nacional.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – ENE.56

Quito, 31 de enero de 2014

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Jaime Saillema Chuquiana

ORDEN DE TRABAJO N° 0001444

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en juntas soldadas pertenecientes al Sr. Jaime Saillema Chuquiana. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Cinco (5) juntas soldadas para ensayo de impacto Charpy, dos (2) juntas soldadas para ensayo de tracción y una (1) probeta circular extraída del cordón de soldadura para ensayo de tracción bajo la norma AWS D1.5.

2. GENERALIDADES

Proceso de soldadura: SMAW
Material base: ASTM A-588
Material de aporte: E7018
Espesor de la placa: 20 mm

3. ENSAYO DE IMPACTO CHARPY BAJO LA NORMA AWS D1.5

En la tabla 1 se muestran los resultados del ensayo de impacto Charpy.

Temperatura de ensayo: -20°C (0°F)
Energía mínima de impacto: 27 J (20 lbf-ft)



LAEV-EPN
Orden N°: 0001444



Tabla 1. Resultados del Ensayo de impacto Charpy.

Identificación	Energía de Impacto		Observación
	lbf-ft	J	
CH1	20	27,1	Aprueba
CH2	34	46,1	Aprueba
CH3	14	19,0	--
CH4	28	38,0	Aprueba
CH5	54	73,2	--
Promedio*	27	37,1	Aprueba

*El promedio se calcula considerando los tres valores intermedios de energía de impacto.

4. ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA JUNTA SOLDADA BAJO LA NORMA AWS D1.5

En la tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de tracción de las juntas soldadas.

Resistencia mínima a la tracción del material base ASTM A-588: 70 ksi [485 MPa]

Tabla 2. Resultados de los ensayos de tracción de las juntas soldadas.

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima soportada		Resistencia a la tracción		Obs.	Calif.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa		
T1	17,21	20,66	44.200	196.611	80,2	553,0	FMB	Aprueba
T2	19,26	20,14	49.700	221.077	82,7	570,1	FMB	Aprueba

* FMB: Falla en el material base

Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en la figura 1 y 2 del anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

5. ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETA CIRCULAR BAJO LA NORMA AWS D1.5

En la tabla 3 se indican los requerimientos del material de aporte.

Tabla 3. Requerimientos mecánicos para el material de aporte.

Material de aporte	Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E7018	58	399	70	482	22



LAEV-EPN
Orden N°: 0001444



Sy Sut

Tabla 3. Resultados del ensayo de tracción en la probeta extraída del cordón de soldadura.

Identificación	Diámetro promedio	Carga máxima		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación	Calif.
		lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa		
R1	12,7	18.750	83.404	80,1	552,3	95,5	658,4	27,58	Aprueba

La curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestra en la figura 3 del anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas, corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.




Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.
 JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

ANEXO

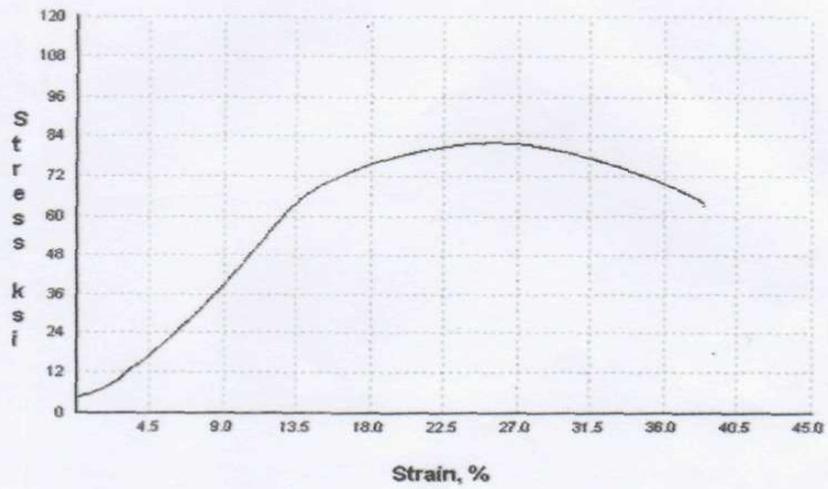


Figura 1. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la junta soldada T1.

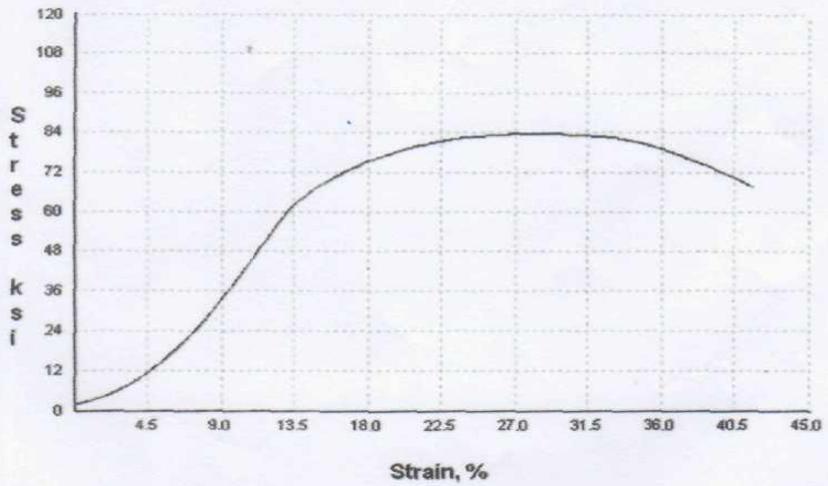


Figura 2. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la junta soldada T2.



LAEV-EPN
Orden N°: 0001089



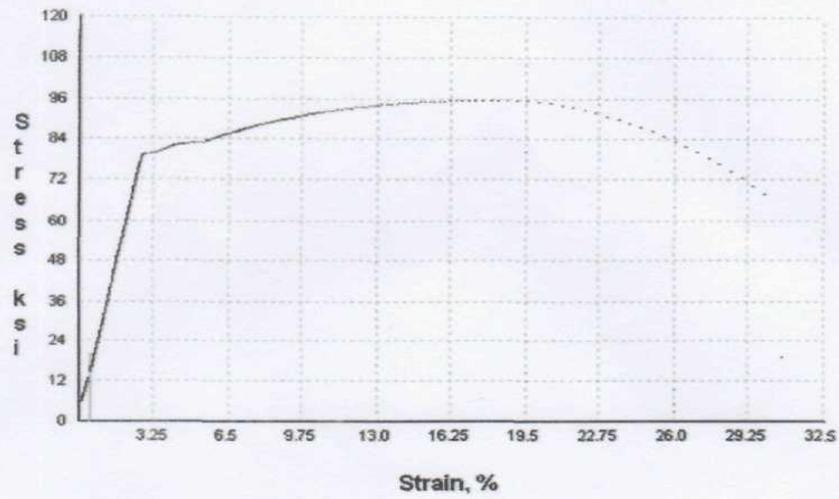


Figura 3. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta circular extraída del cordón de soldadura.

VE





INFORME TÉCNICO

LAEV - ENE.56

Quito, 31 de enero de 2014

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Jaime Sailema Chuquiama

ORDEN DE TRABAJO N° 0001098

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en juntas soldadas pertenecientes al CONSORCIO ARCO. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Cinco (5) juntas soldadas para ensayo de impacto Charpy, dos (2) juntas soldadas para ensayo de tracción y una (1) probeta circular extraída del cordón de soldadura para ensayo de tracción bajo el código AWS D1.5.

2. GENERALIDADES

Procedimiento de soldadura:	GSKV-GPS ASEDEIMI-001
Proceso de soldadura:	FCAW
Material de aporte:	EB1T-1 Ni1 ϕ 3,2 mm
Material base:	ASTM A-588

3. ENSAYO DE IMPACTO CHARPY BAJO EL CÓDIGO AWS D1.5

En la tabla 1 se muestran los resultados del ensayo de impacto Charpy.

Temperatura de ensayo: -20°C (0°F)
Energía mínima de impacto: 27 J (20 lbf-ft)



LAEV/PM
Orden N° 0001098



Tabla 1. Resultados del Ensayo de impacto Charpy.

Identificación	Energía de Impacto		Observación
	lbf-ft	J	
CH1	36	48,8	Se elimina
CH2	36	48,8	Aprueba
CH3	52	70,5	Aprueba
CH4	52	70,5	Se elimina
CH5	42	56,9	Aprueba
Promedio (CH1, CH3, CH4)	43	58,8	Aprueba

4. ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA JUNTA SOLDADA BAJO LA NORMA AWS D1.5

En la tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de tracción de las juntas soldadas.

Resistencia mínima a la tracción del material base ASTM A-588: 70 ksi [485 MPa]

Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción de la junta soldada.

Identificación	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima soportada		Resistencia a la tracción		Obs.	Calif.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa		
T1	16,28	20,1	41.600	185.046	82,0	565	FMB	Aprueba
T2	19,42	20,42	51.400	228.639	83,6	577	FMB	Aprueba

* FMB: Falla en el material base

Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en la figura 1 y 2 del anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas, corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

5. ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETA CIRCULAR BAJO LA NORMA AWS D1.5

En la tabla 3 se muestran los resultados del ensayo de tracción del cordón de soldadura.

Requerimientos del material de aporte E81T1-Ni1

- Resistencia mínima a la tracción del material de aporte: 80 ksi [550 MPa]
- Límite de fluencia del material de aporte: 68 ksi [470 MPa]
- Porcentaje de elongación mínima en 50 mm: 19%



En la tabla 4 se muestran los resultados del ensayo de tracción del cordón de soldadura.

Tabla 4. Resultados del ensayo de tracción en la probeta extraída del cordón de soldadura.

Diámetro promedio	Carga máxima		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación	Calif.
	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi			MPa
12,67	17.150	76.287	73,5	506,8	87,8	605,1	26,78	Aprueba

La curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestra en el anexo en la figura 3. El porcentaje de deformación que se puede observar en la curva corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.


FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LAEV
Victor Hugo Guerrero, Ph.D.
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ANEXO

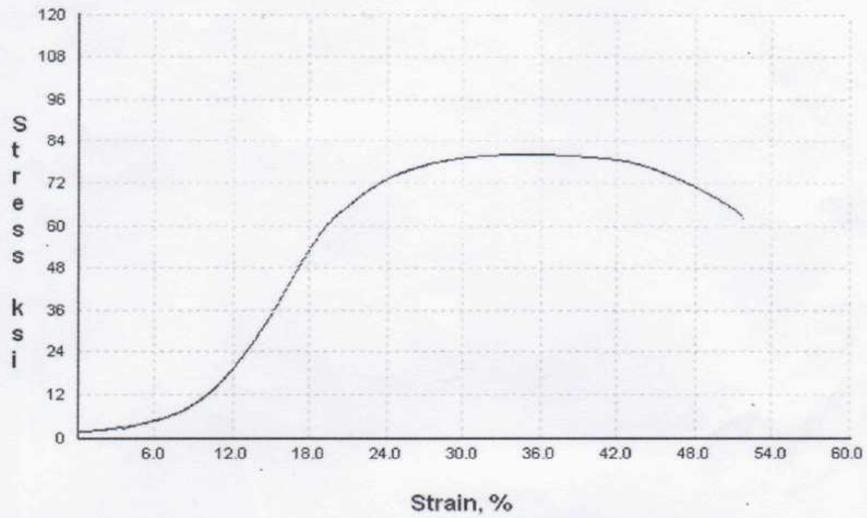


Figura 1. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la junta soldada T1.

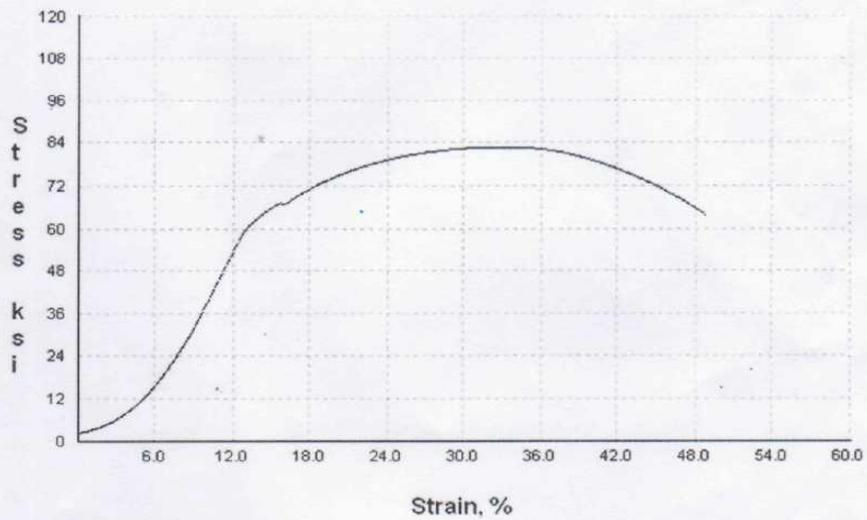


Figura 2. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la junta soldada T2.



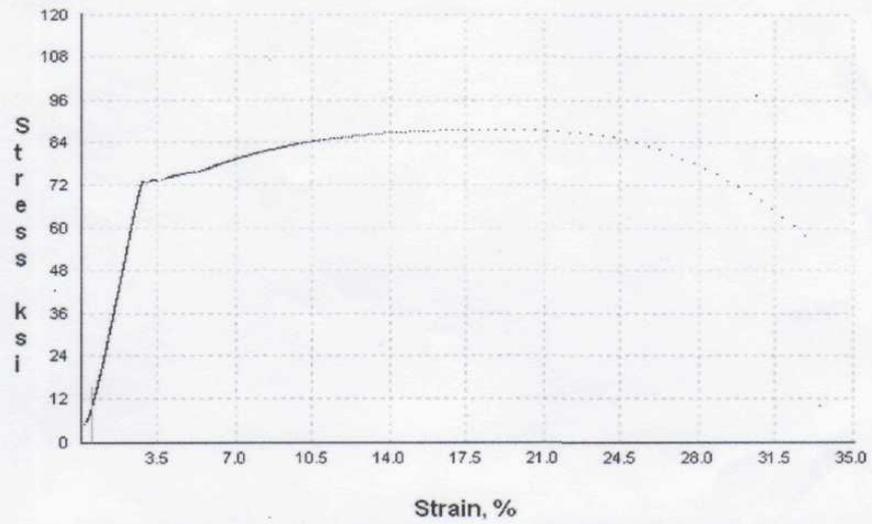


Figura 3. Curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta circular extraída del cordón de soldadura.



LAEV-EPN
Orden N°: 0001444



INDURA 81Ni2-V

Clasificación AWS: E-81T1-Ni2C, -Ni2M / E-551T1-Ni2C, -Ni2M

- *Alambre tubular con protección gaseosa externa*
- *Toda posición*
- *Protección gaseosa, Indurmig 20 ó 100% CO₂*
- *Corriente continua, electrodo positivo*

Descripción

Alambre tubular con protección gaseosa.

Se caracteriza por excelente estabilidad de arco, baja salpicadura utilizando CO₂ o indurmig 20, bajos niveles de hidrógeno difusible y buena resistencia al impacto.

Usos

Produce propiedades mecánicas superiores en el metal depositado, lo cual lo hace recomendable en aplicaciones tales como construcción naval y de maquinaria pesada.

Recomendado para soldaduras de simple o multipasada en toda posición.

Aplicaciones típicas

- Construcción naval
- Aceros HSLA
- Aceros expuestos al ambiente
- Maquinaria pesada
- Equipos mineros

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,05%; Mn 1,10%; Si 0,28%; P 0,015%; S 0,014%; Cr 0,04%; Ni 2,24%; Mo 0,02%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.29/A5.29M-05):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 685 MPa	550-690 MPa	37J a -40°C	27J a -40°C
Límite de fluencia : 632 MPa	470 MPa		
Alargamiento en 50 mm : 20%	19%		

Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Voltaje, volt	Amperaje		Stickout, mm
		mín.	máx.	
1,2	22-30	100	300	13-19
1,6	23-29	150	400	13-19

INDURA 6010	<i>Clasificación AWS: E-6010 / E-4310</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Electrodo para acero al carbono</i> • <i>Revestimiento celulósico sódico. Color rojo</i> • <i>Toda posición</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Corriente continua, electrodo positivo</i> • <i>Certificado anualmente por American Bureau of Shipping, Lloyd's Register of Shipping, Germanischer Lloyd, Nippon Kaiji Kyokai</i>

Descripción

Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento, que permite una velocidad de depósito mayor y una aplicación más fácil, junto con propiedades mecánicas sobresalientes. La estabilidad del arco y el escudo protector que da el revestimiento ayudan a dirigir el depósito reduciendo la tendencia a socavar. Está diseñado según los últimos adelantos técnicos para lograr óptimos resultados prácticos.

Usos

Este electrodo tiene un campo de aplicación muy amplio, en especial cuando es necesario soldar en toda posición.

Aplicaciones típicas

- Estanques
- Estructuras
- Planchas corrientes y galvanizadas
- Tuberías de presión
- Cañerías
- Barcos

Procedimiento para soldar

Para obtener los mejores resultados, se recomienda un arco de longitud mediana que permita controlar mejor la forma y aspecto del cordón.

Para soldadura de filetes planos y horizontales, se recomienda mantener el electrodo a 45° con cada plancha, oscilándolo en el sentido del avance. El movimiento adelante tiene por objeto obtener buena penetración y el movimiento hacia atrás controla la socavación y la forma del cordón.

En la soldadura vertical se recomienda llevar el electrodo en un ángulo de casi 90°, inclinándolo ligeramente en el sentido de avance.

Se debe llevar un movimiento de vaivén, alargando el arco para no depositar metal en el movimiento hacia arriba y luego acortándolo para depositar en el cráter y así controlar las dimensiones del depósito y la socavación.

Composición química (típica del metal depositado):				
C 0,11%; Mn 0,55%; Si 0,24%; P 0,014%; S 0,008%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 500 MPa	430 MPa	38J a -30°C	27J a -30°C	
Límite de fluencia : 414 MPa	330 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 26%	22%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje mín.	máx.	Electrodos x kg aprox.
2,4	300	60	90	75
3,2	350	80	110	35
4,0	350	110	160	24
4,8	350	150	200	17

INDURA 7018-AR

Clasificación AWS: E-7018 / E-4918

- Electrodo para acero al carbono
- Revestimiento bajo hidrógeno con hierro en polvo. Color gris
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo

Descripción

Electrodo de bajo contenido de hidrógeno.

Se caracteriza por depósitos de calidad radiográfica, arco fácil de establecer, excelentes características operativas, fácil desprendimiento de escoria y excelente presentación.

Usos

Se recomienda para trabajos donde se requiera una alta calidad radiográfica.

Aplicaciones típicas

- Construcción
- Reparación de buques
- Plataformas petroleras
- Cañerías, etc.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En soldadura en posición sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance.

Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo. Para mayores detalles ver página 33. Observe las recomendaciones para almacenaje de los electrodos, página 20.

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,09%; Mn 1,05%; Si 0,55%; P 0,020%; S 0,015%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 572 MPa	490 MPa	135J a -30°C	27J a -30°C
Límite de fluencia : 475 MPa	400 MPa		
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%		

Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		min.	máx.	
2,4	300	60	110	52
3,2	350	100	160	26
4,0	350	130	210	19
4,8	350	190	280	14

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – INVERTEC V350-PRO

VOLTAJE DE CA DE ENTRADA Y SALIDA DE CD						
Nombre del Producto	Información para Pedidos	Voltaje de CA de entrada	Salida de CD nominal Amps/Voltios/Ciclo de Trabajo	Rango de Salida (continuo)	Peso con Cable	Dimensiones AxAxP
Invertec V350-PRO 60/50 Hz	K1728-1 Factory	200	350A / 34V / 60%	AMPS 5-425	Factory 82.5lbs (37.4 kg)	14.8" x 13.3" x 27.8" (373 x 338 x 706)mm * Incluye manijas
	K1728-2 Construction	208-230/ 380-400/ 415-460/ 575	275A / 31V / 100%		Construction 81.5lbs. (36.9 kg)	
	K1728-4 Advance Process	1ø 3 Phase 60/50 Hz			Advance Process 82.5lbs (37.4 kg)	

*Longitud General Incluyendo Manijas, 706 mm (27.8") sin agaraderas.

CORRIENTE DE ENTRADA V350-PRO						
Tamaños de Fusibles Recomendados con Base en el Código Eléctrico Nacional de los E.U.A. y Salidas Máximas de la Máquina						
Entrada 50/60 Hz		Salida		Recomendado		Notas
Voltaje	Fases	275Amps a 31Volts(100%)	350Amps a 34Volts(60%)	Cable de Alimentación	Tamaño de Fusible	
200	1	No Recomendado	No Recomendado		---	Nota 1
208	1	70	94	2	125A	Nota 2
230	1	62	85	4	125A	Nota 2
380	1	No Recomendado	No Recomendado		---	Nota 1
400	1	No Recomendado	No Recomendado		---	Nota 1
415	1	38	54	6	80A	Nota 2
460	1	34	42	8	70A	
575	1	27	37	8	50A	
200	3	37	50	8	80A	Nota 2
208	3	36	50	6	80A	Nota 2
230	3	31	42	8	70A	
380	3	21	28	8	50A	
400	3	20	27	8	50A	
415	3	19	26	8	50A	
460	3	17	23	8	50A	
575	3	14	18	8	35A	

Nota 1. Lo que no está clasificado se indica con 4 x en la caja, en la placa de capacidad nominal.

Nota 2. Cuando opere en estas entradas, deberá cambiar el cable de alimentación a un conductor de entrada de 6 AWG o may

CABLES DE SALIDA, CONEXIONES Y LIMITACIONES			
Seleccione el tamaño del cable de salida conforme a la siguiente tabla.			
Tamaños de Cables para Longitud Combinada de Electrodo y Cable de Trabajo (Cobre) Clasificados a 75C:			
CICLO DE TRABAJO	CORRIENTE	LONGITUD HASTA 61m (200 pies)	61-76m (200-250 pies)
100%	275	1/0	1/0
60%	350	1/0	2/0

V350-PRO

